Regione Puglia

Area Politiche per la riqualificazione, la tutela e la sicurezza ambientale e per l'attuazione delle opere pubbliche.
Servizio Protezione Civile
Centro Funzionale Regionale e Struttura di Monitoraggio Meteoclimatico

Area Programmazione e Finanza
Ufficio Statistico

Mappe Climatiche in Puglia:

metodologie, strumenti e risultati

Anno **2010**

Pubblicazione a cura della Regione Puglia

Servizio Protezione Civile
Centro Funzionale Regionale e Struttura di Monitoraggio Meteoclimatico
Area Politiche per la riqualificazione, la tutela e la sicurezza ambientale e per l'attuazione delle opere pubbliche.

Ufficio Statistico
Area programmazione e finanza

Contributi di
G. Amoruso, P.B. Giandonato, V. Marzano, L. Pirone (Servizio Protezione Civile)
V. D'Agostino, A. Refaldi (Ufficio Statistico)
E. Barca, G. Passarella (IRSA)
G. Bari, F. Intini, F. Montanaro, F. Pastore (Associazione ONLUS "Meteo Valle d'Itria")

Realizzata in collaborazione con:

Consiglio Nazionale delle Ricerche
Istituto di Ricerca Sulle Acque (IRSA)

Per informazioni
http://www.protezionecivile.puglia.it
cf@protezionecivile.puglia.it
http://www.regione.puglia.it/ufficiostatistico
ufficio.statistico@regione.puglia.it

Disclaimer
Riguardo al software realizzato dal gruppo di lavoro, scaricabile liberamente dal sito www.regione.puglia.it/ufficiostatistico, gli autori declinano qualsiasi responsabilità che possa derivarne dal suo utilizzo.

Regione Puglia

Area Politiche per la riqualificazione, la tutela e la sicurezza ambientale e per l'attuazione delle opere pubbliche.
Servizio Protezione Civile
Centro Funzionale Regionale e Struttura di Monitoraggio Meteoclimatico

Area Programmazione e Finanza
Ufficio Statistico

Mappe Climatiche in Puglia:

metodologie, strumenti e risultati

Anno **2010**

La Struttura di Monitoraggio Meteoclimatico (già Ufficio Idrografico della Presidenza del Consiglio dei Ministri) garantisce lo svolgimento delle attività di cui agli artt. 22 e 23 del D.P.R. 24.01.1991 n. 85 e fornisce supporto conoscitivo al Centro Funzionale Regionale di cui alla Direttiva del P.C.M. 27.02.2004, assicurando la costante e metodica acquisizione e validazione di specifici parametri climatici, nonché la elaborazione e la pubblicazione di cartografia climatica che contribuisce a fornire informazioni quantitative sullo stato dell'ambiente.

Tali attività forniscono un supporto operativo alla tutela dell'ecosistema, nonché un ausilio alle iniziative volte a preservare l'ambiente dalle criticità, ovvero a mitigare i rischi naturali e quindi gli effetti al suolo di eventi climatologici particolarmente avversi.

Il Servizio Protezione Civile ha ritenuto la realizzazione delle mappe climatiche particolarmente impattante sull'individuazione delle metodologie statistiche e delle tecnologie più appropriate da impiegare per la stima di alcune variabili ambientali in generiche località del territorio regionale.

Allo scopo ha promosso e costituito un gruppo di lavoro interdisciplinare e interistituzionale a garanzia che le attività svolte e le soluzioni individuate e applicate rappresentino la logica sintesi condivisa di esperienze e di competenze consolidate sui vari aspetti tecnico/ambientali che caratterizzano il presente studio.

ing. Giuseppe Tedeschi
Dirigente Servizio Protezione Civile

La legge regionale n.34/2001, attuativa del D.Lgs. n. 322/89, ha istituito l'Ufficio Statistico della Regione Puglia, attribuendogli funzioni tecnico-scientifiche e di coordinamento delle strutture organizzative regionali che svolgono attività statistica settoriale ai fini dell'unicità di indirizzo tecnico e metodologico. L'Ufficio realizza attività di studio e ricerca, divulgandone i risultati attraverso pubblicazioni ufficiali della Regione Puglia. Il presente lavoro nasce da un'analisi dei bisogni statistici dei servizi regionali svolta nel 2009, da cui è emersa l'esigenza di definire metodologie statistiche che permettano la costruzione di mappe meteo-climatiche. Di concerto con il Servizio regionale della Protezione civile si è proceduto alla costituzione di un gruppo tecnico di lavoro col compito di affrontare il suddetto il tema, in un'ottica multidisciplinare e multi-istituzionale, in considerazione della complessità con cui i fenomeni propriamente fisici si manifestano sul territorio. L'Ufficio Statistico ha attivamente sostenuto le attività del gruppo di lavoro nella consapevolezza che, contribuire alla esatta conoscenza statistica di fenomeni di varia natura, sia il fondamento delle "migliori decisioni possibili", a beneficio dell'intera collettività.

dr. Massimo Bianco
Dirigente Ufficio Statistico

L'Istituto di Ricerca sulle Acque del Consiglio Nazionale delle Ricerche (IRSA-CNR), è da anni impegnato in attività di ricerca relative alle conseguenze sui sistemi idrici naturali delle mutazioni climatiche sia in veste del proprio ruolo di consulente istituzionale sia per il suo coinvolgimento in progetti di ricerca nazionali ed internazionali. In tale ambito ed in attuazione all'accordo di programma quadro n. 591 del 20 giugno 2006 sottoscritto tra il Dipartimento della Protezione Civile e il Consiglio Nazionale delle Ricerche per lo sviluppo della conoscenza, delle metodologie e delle tecnologie utili alla realizzazione, presso i Centri Funzionali, di sistemi di monitoraggio, previsione e sorveglianza nazionali, nonché per l'attuazione dell'organizzazione della funzione di supporto tecnico-scientifico nell'ambito del Servizio Nazionale della Protezione Civile, come stabilito dalla Direttiva del presidente del Consiglio dei Ministri 27/02/2004 "Indirizzi operativi per la gestione organizzativa e funzionale del sistema di allerta nazionale e regionale per il rischio idrogeologico e idraulico ai fini di protezione civile" ha risposto con entusiasmo all'invito a collaborare alle attività che hanno prodotto questo documento.

ing. Michele Vurro
Dirigente di Ricerca IRSA-CNR Indice

Mappe Climatiche in Puglia: metodologie, strumenti e risultati

Premessa 4
1. ANALISI DEI BISOGNI 5
2. STATO DELL'ARTE DELL'OFFERTA PRODOTTI 8
3. STATO DELL'ARTE SULLE METODOLOGIE 10
3.1 Geostatistica 15
3.1.1 Analisi della dipendenza spaziale attraverso il variogramma 16
3.1.2 Modelli di variogramma 18
3.1.3 Variografia 19
3.1.4 Tecniche di kriging 23
3.2 Fasi dell'analisi geostatistica 27
4. STATO DELL'ARTE SULLE TECNOLOGIE 34
5. DESCRIZIONE AREA DI STUDIO E DELLA RETE 35
5.1 Le stazioni per il rilevamento delle temperature 41
5.2 Le stazioni per il rilevamento delle precipitazioni 45
6. ELABORAZIONE DEI DATI 51
6.1 Analisi strutturale temperature massime 51
6.1.1 Analisi descrittive 51
6.1.2 Variografia 52
6.2 Analisi strutturale temperature minime 58
6.2.1 Analisi descrittive 58
6.2.2 Variografia 59
6.3 Analisi strutturale totali precipitazioni 65
6.3.1 Statistiche descrittive 65
6.3.2 Variografia 67
6.4 La produzione di mappe climatiche 81
7. ANALISI DELLE MAPPE 84
7.1 Caratterizzazione meteorologica stagionale 85
8. CONCLUSIONI 91

APPENDICE A – Istruzioni d'uso software free to use 93

APPENDICE B – Statistiche descrittive dati termometrici e pluviometrici 101

APPENDICE C – Le mappe climatiche 113

Premessa

La Struttura di Monitoraggio Meteoclimatico (già Ufficio Idrografico e Mareografico), integrato nel Centro Funzionale regionale del Servizio Protezione Civile, svolge le attività istituzionali di cui agli art.22 e 23 del D.P.R. 24.01.1991 n.85 e in particolare cura l'acquisizione e la diffusione dei dati climatici (precipitazione, temperatura, umidità, intensità e direzione del vento, ecc.) nonché la pubblicazione di cartografia climatica che sono di interesse delle strutture di pianificazione territoriale pubbliche e private.

Il tema della produzione di cartografia climatica impatta sull'individuazione delle metodologie statistiche più appropriate da impiegare per la stima delle variabili di interesse in generici punti del territorio regionale. Il Servizio Protezione Civile, ritenendo, che la realizzazione di tale attività potesse essere oggetto di interessanti spunti di approfondimento scientifico e metodologico, ha interessato l'Ufficio Statistico regionale ed il CNR-IRSA.

L'Ufficio Statistico regionale svolge, con legge regionale n. 34/2001 le funzioni tecnico scientifiche coordinando le rilevazioni del Piano Statistico Nazionale, svolgendo attività statistica al fine dell'unicità di indirizzo tecnico e metodologico per le strutture organizzative regionali.

Il CNR-IRSA rappresenta, nel panorama tecnico scientifico regionale e nazionale, una realtà che affronta buona parte delle tematiche di ricerca afferenti il settore delle acque e dell'ambiente.

A seguito di incontri tematici sull'argomento è stata rilevata l'esigenza di avviare l'elaborazione e la redazione di mappe meteo-climatiche, per rispondere ai bisogni dell'utenza, da ottenere attraverso l'elaborazione e l'analisi spaziale e geostatistica dei parametri climatici rilevati e gestiti in modo già informatizzato dalla Struttura di monitoraggio che dispone di una notevole mole di dati storici.

Il Sevizio Protezione Civile, d'intesa con l'Ufficio Statistico, con determinazione 026/DIR/2010/92 del 1.03.2010 integrata con determinazione 026/DIR/2010/163 del 17.05.2010, ha istituito un apposito gruppo tecnico di lavoro per la "Produzione di cartografie climatiche territoriali" costituito da professionalità delle stesse strutture unitamente a quelle del CNR-IRSA.

Il gruppo si è posto l'obiettivo di elaborare i dati meteo-climatici della Struttura di Monitoraggio del Centro Funzionale Regionale, per giungere alla produzione e pubblicazione di mappe tematiche, dedicate ai vari livelli di bisogni, mediante l'impiego di opportune tecniche statistiche e strumenti informatici.

Il gruppo ha condiviso un piano di lavoro da svilupparsi in tre fasi. Ciascuna fase prevede l'analisi l'identificazione di metodologie e strumenti per la produzione di tre tipologie differenti di mappe, che potranno soddisfare diverse utenze. Queste mappe, verranno identificate secondo diversi livelli:

1. di primo livello, ottenibili dalla spazializzazione dei dati, opportunamente selezionati, della rete del Servizio Protezione Civile;

2. di secondo livello, ottenibili dalla combinazione delle mappe di primo livello (esempio tramite intersezioni, unioni, *point in polygon*) con altre informazioni spaziali e/o dalla loro trasformazione attraverso elaborazione matematica tendente ad ottenere indicatori bioclimatici;

3. di terzo livello, ottenibili dalla spazializzazione delle probabilità di superamento di determinate soglie critiche per le variabili prese in esame e dall'analisi della loro dinamica evolutiva in grado di evidenziare stati di "earling warning".

Per raggiungere gli obiettivi della prima fase riguardanti le mappe di primo livello si è pianificato lo sviluppo delle seguenti attività:

- Analisi dei bisogni delle diverse categorie di utenti e dei relativi prodotti/mappe in grado di soddisfarli. A seconda del bisogno già espresso o esprimibile dall'utenza (amministrazione comunale, Ente pubblico, singolo cittadino, ecc) è possibile individuare la variabile (precipitazione, temperature, ecc) e la scala temporale di interesse (media mensile, totale giornaliero, ecc);
- Stato dell'arte dell'offerta prodotti, con l'obiettivo dell'esplorazione via web e dell'individuazione dell'offerta delle varie tipologie di mappe da parte di soggetti che in qualche modo possano essere assimilati al servizio di protezione civile. L'esplorazione ha compreso istituzioni nazionali ed internazionali. La consultazione dei siti di interesse ha prodotto indicazioni utili anche alle scelte metodologiche da adottare;
- Stato dell'arte sulle metodologie per l'ottenimento dei prodotti, con l'obiettivo di realizzare un quadro aggiornato degli approcci e delle relative metodologie in grado di ricostruire i dati nelle locazioni geografiche prive di misurazioni strumentali. Gli approcci sono fondamentalmente due: deterministico e stocastico. In questo secondo approccio rientrano i metodi e le tecniche geostatistiche in grado di fornire due informazioni: stima e varianza di stima. La scelta del metodo più appropriato per la costruzione delle mappe di primo livello dipende dagli obiettivi e dai vincoli applicativi;
- Stato dell'arte su strumenti e tecnologie per l'ottenimento dei prodotti con l'obiettivo di realizzare un quadro aggiornato degli strumenti automatici e delle tecnologie per realizzare le mappe attraverso le metodologie individuate precedentemente;
- Produzione delle mappe, con l'obiettivo di implementare le metodologie prescelte per elaborare le variabili con le tecnologie individuate al fine di ottenere le mappe.

1. Analisi dei bisogni

L'Ufficio Idrografico, istituito sin dal 1917 come Sezione autonoma del Genio Civile, è stato trasferito alla Regione Puglia a seguito del D.P.C.M. 24.07.2002 e attualmente è incorporato nel Servizio Protezione Civile, integrato quale Struttura di Monitoraggio Meteoclimatico all'interno del Centro Funzionale regionale, con le competenze di cui all'art. 22 e 23 del DPR 24.01.1991, n.85.

Le attività condotte dall'Ufficio Idrografico e Mareografico, si possono sintetizzare nello studio, rilevamento e analisi dei fenomeni fisici e nella conservazione, pubblicazione e divulgazione dei dati e delle informazioni di carattere meteo-climatico, idrologico e idraulico interessanti il reticolo idrografico superficiale e sotterraneo tra il bacino del torrente Candelaro e quello del fiume Lato compreso il bacino interregionale del fiume Ofanto.

Sin dalla sua istituzione, l'Ufficio ha provveduto a dare massima diffusione ai dati rilevati nelle stazioni di osservazione, attraverso la pubblicazione degli ANNALI IDROLOGICI parte I e II.

Nell'ANNALE Parte I[a] sono pubblicati:

- i dati termometrici: massime e minime temperature giornaliere; valori medi estremi delle temperature mensili;

- i dati pluviometrici: totali giornalieri, mensili e annuali; precipitazioni massime di 1, 3, 6, 12 e 24 ore consecutive; massime precipitazioni dell'anno per periodi di più giorni consecutivi; precipitazioni di notevole intensità e breve durata; manto nevoso;

- dati meteorologici: pressione atmosferica, umidità relativa, vento al suolo.

Nell'ANNALE Parte II[a], sono pubblicati i dati idrologici dei corsi d'acqua ed i relativi bacini, e in particolare:

- afflussi meteorici su alcuni bacini;

- altezze idrometriche giornaliere;

- portate e bilanci idrologici;

- osservazioni freatimetriche;

- trasporto torbido;

- indagini, studi idrologici, ed eventi di carattere eccezionale (in questo capitolo conclusivo vengono descritti, qualora si verifichino, i fenomeni eccezionali come alluvioni o lunghi periodi di siccità).

La Struttura di Monitoraggio meteoclimatico ha avviato un processo di armonizzazione e potenziamento del sistema di rilevamento dei dati meteorologici con strumentazioni elettroniche con la trasmissione dei dati in telemisura, ed alla loro diffusione, in pregio ai principi di economicità efficienza ed efficacia. Gran parte dei dati termopluviometrici sono visibili ed acquisibili consultando il sito www.protezionecivile.puglia.it.

Nella tabella seguente è indicata la consistenza dell'attuale rete di monitoraggio.

Tabella 1.1
Consistenza attuale rete di monitoraggio

Tipologia Stazioni	N°	Sensori						
		P	T	Ta	An	Br	U	I
Stazioni in Telemisura (trasmissione radio)	108	86	63	1	19	1	26	24
Stazioni in Telemisura (trasmissione GSM)	62	62	39				1	
Totale	**170**	**148**	**102**	**1**	**19**	**1**	**27**	**24**
Stazioni meccaniche di controllo (PLA, idrometrografi)	42	21				1		20

I sensori sono di seguito elencati:

P: Precipitazione;
T: Temperatura dell'aria;
Ta: Temperatura dell'acqua;
An: Vento;
Br: Pressione atmosferica;
U: Umidità;
I: Idrometro.

Le fig. 1.1 e 1.2, evidenziano la distribuzione spaziale dei sensori pluviometrici e termometrici sul territorio pugliese (le stazioni pluviometriche sono più numerose di quelle termometriche). La distribuzione su tutto il territorio pugliese consente di dare un valore statistico alle relative determinazioni.

Per la produzione delle mappe di *primo livello*, sono stati elaborati i valori medi relativi ai pa-

Figura 1.1 – Sensori pluviometrici – distribuzione

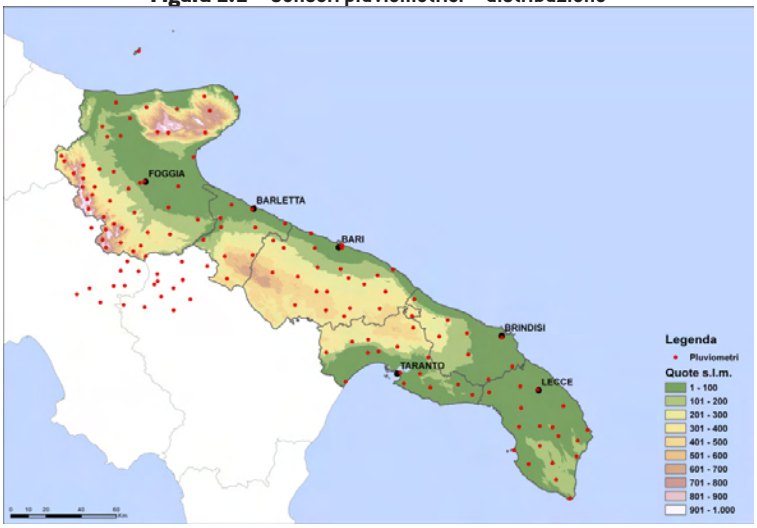
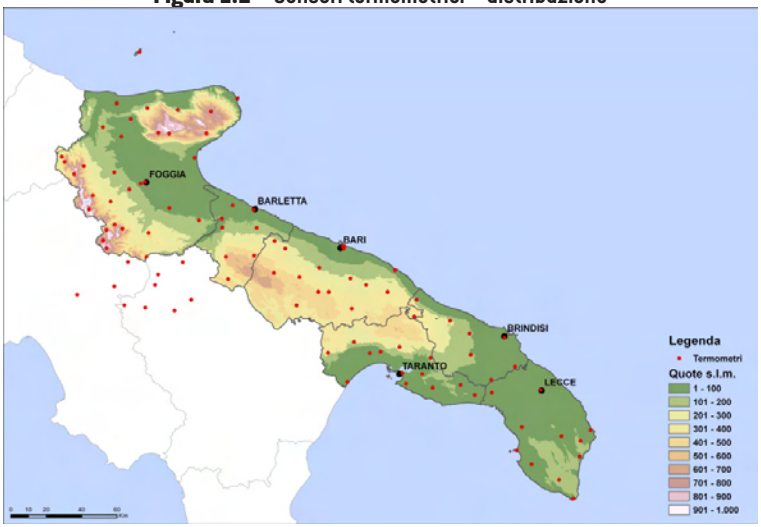


Figura 1.2 – Sensori termometrici – distribuzione



rametri "temperatura" e "precipitazione", con la finalità di produrre una carta di sintesi che consente di classificare climatologicamente il territorio regionale. I dati disponibili delle stazioni di misura sono stati georeferenziati in modo da ottenere una carta finale utilizzando algoritmi di interpolazione.

Per caratterizzare climatologicamente il territorio regionale è necessario analizzare alcuni parametri meteorologici quali la temperatura (minima e massima) e la precipitazione. Tali dati climatici, sono stati aggregati a livello mensile su un periodo temporale di trent'anni (1976 – 2005).

Tali dati, sono stati elaborati statisticamente ottenendo diversi livelli tematici, quali:

- Temperatura media normale mensile;
- Media delle temperature massime mensili;
- Media delle temperature minime mensili;
- Precipitazioni medie mensili.

La realizzazione di queste mappe (*primo livello*) ha come obiettivo quello di soddisfare alcuni dei bisogni delle strutture che operano non solo nell'ambito della pianificazione (Centro Funzionale Regionale, Enti Locali, Autorità di Bacino, ARPA, ecc…), ma anche in quello scientifico (Università, tecnici e ricercatori), oltre ad eventuali esigenze del singolo cittadino.

L'analisi dei bisogni varia in funzione dei livelli delle mappe precedentemente descritte. Le mappe di *secondo livello* (combinazione di quelle di *primo livello* con altre informazioni spaziali attraverso operazioni GIS o combinazioni matematiche), avranno come utenti: funzionari della Regione e degli Enti Locali, tecnici, ricercatori, soggetti preposti alle attività di pianificazione e decisionali, e rappresenteranno un utile strumento per ottenere indicatori sulle caratteristiche climatiche del territorio (indici di siccità, indicatori bioclimatici, ecc.).

Infine, le mappe di *terzo livello*, visualizzate in sequenze temporali, rappresenteranno graficamente la dinamica dei processi meteorologici. Attraverso l'acquisizione di tali mappe, il Centro Funzionale Regionale sarà in grado di effettuare analisi multi – temporali relativamente alle diverse variabili meteo climatiche sul territorio pugliese. Tali prodotti saranno deputati a supportare le attività di protezione civile evidenziando l'eventuale superamento di determinate soglie critiche per le variabili prese in esame (stati di "earling warning").

2. Stato dell'arte dell'offerta prodotti

In questa sezione viene fornito un elenco delle varie tipologie di mappe prodotte dalle diverse strutture Regionali/Nazionali che si occupano dell'analisi climatica della propria area regionale e che forniscono, in qualche modo, prodotti affini a ciò che compete alla Protezione Civile.

Per la suddetta raccolta dati si è effettuata una dettagliata ricognizione di siti web (siti delle istituzioni Regionali/Nazionali, quali agenzie ambientali, protezione civile, ecc.).

Nella seguente tabella sono riportati i risultati della ricerca:

REGIONE	SITO WEB	DESCRIZIONE
Calabria	http://www.crati.it/dati_storici_tabelle_pdf/carte_di_clima_e_studio_vocazionale_della_regione_calabria.pdf	Il CRATI è un Consorzio per la Ricerca e le Applicazioni di Tecnologie Innovative, che ha realizzato delle mappe di Temperature e Precipitazioni medie annue usando una banca dati dell'Istituto Mareografico ed Idrografico di Catanzaro. L'interpolazione del dato è stata effettuata attraverso una media pesata. Periodo storico 1980-2001. DEM a risoluzione di 225 m.

Campania	http://www.esriitalia.it/conferenza2009/content/cd_atti_e_programma/poster/6_Territorio/C_Parente.pdf	Spazializzazione delle temperature medie giornaliere attraverso l'utilizzo di un'estensione disponibile in ArcGis, quale l'Ordinay Kriging. Studio realizzato dall'Università degli Studi di Napoli "Parthenope" – Dipartimento di Scienze Applicate.
Emilia Romagna	https://servizimoka.regione.emilia-romagna.it/mokaWeb92/apps/ClimaER_145/mapviewer.jsf?width=1146&height=663 http://www.scribd.com/doc/37098200/Atlante-idroclimatico-dell-Emilia-Romagna-1961-2008	L'ARPA ha realizzato un Atlante Idroclimatico, analizzando tutte le variabili meteoclimatiche di un periodo di riferimento di 39 anni (1961-2008). I risultati pubblicati, sono pubblicati sotto forma di mappe.
Friuli Venezia Giulia	http://www.arpa.fvg.it/index.php?id=116	Sul sito dell'ARPA non c'è la possibilità di scaricare dei documenti, ma solo di consultarli. In particolare tutto il sito web è strutturato con link che permettono all'utente di visualizzare l'analisi meteo climatica richiesta.
Lombardia	http://ita.arpalombardia.it/ITA/meteo/foralps_interpolazione.asp	Nell'ambito del progetto FORALPS, il SMR, ha applicato uno schema univariato di Interpolazione Ottimale (OI) alle osservazioni della rete meteorologica regionale. L'OI è un metodo di interpolazione puramente statistico. Questa implementazione dello schema di OI sfrutta una stima 3D della correlazione spaziale tra le diverse misure della rete.
Marche	http://www.protezionecivile.marche.it/viewdoc.asp?CO_ID=568&tree=280 http://www.meteo.marche.it/cartetematiche.aspx#cartetematiche	Sul sito della Protezione Civile sono stati prodotti e resi scaricabili dei documenti relativi alla caratterizzazione climatica delle Marche nel periodo storico 1950-2000, analizzando le variabili di temperatura e precipitazione
Piemonte	http://www.arpa.piemonte.it	Sul sito dell'ARPA sono riportati alcuni report climatici.
Sardegna	http://www.sardegna-clima.it/joomla/index.php?option=com_content&view=article&id=469:precipitazioni-e-temperature-medie-in-sardegna-analisi-spaziale-e-modelli&catid=37:dati-climatici&Itemid=43	Attraverso la rielaborazione dei dati di temperatura e pluviometria dell'Ente Idrografico della Sardegna, con uno storico di quasi 70 anni (1922-1991) rivisitato da uno studio dell'Università di Cagliari, sono state elaborate alcune mappe tematiche riguardanti i valori medi annuali della temperatura e della precipitazione.
Sicilia	http://www.agrometeorologia.it/documenti/Aiam2001/103-115_carta-climatica.pdf	La Regione Sicilia (Assessorato Agricoltura e Foreste – Servizi allo Sviluppo – Unità Operativa di Agrometeorologia) ha realizzato la carta climatica della Sicilia, prodotto delle elaborazioni climatiche territoriali di dati riferiti al trentennio 1965-1994 e relativi a 125 stazioni pluviometriche e 55 termopluvometriche del Servizio Idrografico Regionale.

Toscana	http://www.lamma.rete.toscana.it/ita/climanew/anomalie/index.html	La climatologia è riferita al trentennio 1960-1990 ed è gestita dal consorzio LAboratorio di Monitoraggio e Modellistica Ambientale (LAMMA).
Veneto	http://www.meteotriveneto.it/static/clima_veneto.asp	Nella sezione del sito di trovano, tra l'altro, indicazioni relative ai dati medi del trentennio 1961-1990 raffrontati con i dati rilevati nel quinquennio 1995-1999 dalle stazioni gestite dall' ARPAV – Centro Meteorologico di Teolo.

La Regione Puglia, attraverso il lavoro svolto dall'ex Ufficio Idrografico, offre la possibilità di scaricare i dati dei parametri meteo-climatici dal sito della Protezione Civile http://www.protezionecivile.puglia.it, senza alcuna analisi climatologica. È anche possibile la visualizzazione in tempo reale delle variabili meteo-climatiche.

A breve saranno disponibili le elaborazioni meteo-climatiche relative all'intero territorio regionale.

3. Stato dell'arte sulle metodologie

La stima spaziale è utilizzata per predire i valori delle variabili meteo-climatiche in posizioni in cui non sono disponibili osservazioni strumentali. Da problema prevalentemente speculativo diventa problema a forte impatto applicativo nel momento dell'avvento, negli anni '80, delle tecnologie GIS (*Geographic Information System*) che si avvalgono di metodi e di tecniche di interpolazione spaziale per la produzione automatica di mappe.

Le digressioni sugli approcci per la ricostruzione spaziale risentono dell'influenza dei GIS che sono in grado di manipolare i dati organizzati in forma

a) matriciale detta anche *grid* o *raster* o griglia o reticolo

b) poligonale detta anche *shape* o vettoriale.

Il formato matriciale corrisponde generalmente ad una griglia rettangolare a maglia quadrata regolare della quale siano note la posizione di un punto detto origine, le dimensioni ed il numero delle celle. Il formato poligonale, invece, è caratterizzato da elementi topologici (punti, linee, polilinee, poligoni) di cui sia nota la posizione nello spazio.

Considerati gli obiettivi di questo studio, la stima spaziale è finalizzata al momento decisionale diventa, cioè, uno strumento per aumentare o migliorare la soglia di informazione su cui basare decisioni di carattere gestionale. In particolare è necessario disporre di un metodo di stima capace non soltanto di fornire il valore della variabile considerata in un punto ma anche e soprattutto l'incertezza associata a quella stima: maggiore sarà l'incertezza della stima e maggiore sarà, conseguentemente, il rischio associato alla decisione.

Il modo consueto e ottimale per visualizzare i risultati di elaborazioni di stima spaziale è quello in forma di mappe. Infatti pressochè tutti i metodi noti, dai più semplici ai più elaborati, utilizzano come supporto per la stima griglie regolari, più o meno fitte, assumendo come punto rappresentativo della maglia il suo baricentro (*pixel)*.

Le caratteristiche fondamentali dei *grid* sono la risoluzione spaziale cioè la dimensione bidimensionale della cella nell'unità di misura prescelta, il numero di celle lungo la prima dimensione (*nx*) e quello delle celle nella direzione ortogonale (*ny*), determinati in modo da circoscrivere l'area di studio. L'obiettivo del metodo è la stima della variabile di interesse in tutto il grigliato (*nx * ny*). L'origine del *grid* è l'elemento in basso a sinistra a cui può essere associata una coordinata geografica, ad esempio nel sistema di riferimento geografico UTM espresso in *m* o *km*, che rende georeferenziato tutto il reticolo. Le tecnologie GIS dispongono di funzioni *ad hoc* per la trasformazione dei *grid* in poligoni e in formati atti alla visualizzazione 3D.

Le metodologie per la stima del valore di ogni cella del *grid* basata su valori noti nei punti di misura, in genere, consistono nella interpolazione, che consente di costruire una superficie di stima passante per i punti strumentati e nell'approssimazione, che invece restituisce una superficie che si avvicina "al meglio", nel senso dei minimi quadrati, ai punti strumentati.

La stima spaziale può essere effettuata con una vista globale oppure locale dei dati disponibili. Attraverso la prima tutti i valori sono usati simultaneamente per costruire le stime del *grid,* nella seconda sono usati solo quelli più prossimi alla cella da stimare, prescelti secondo criteri legati alla loro distanza. Sono globali i metodi di *Trend Surface Analysis* (TSA) e legati alle serie di *Fourier*. Sono locali i metodi che utilizzano superfici *spline* e pesi con l'inversa della distanza (IDW).

I metodi TSA applicano la regressione polinomiale ai dati. Essi sono metodi di approssimazione che usano polinomi di grado *n*, i cui coefficienti sono calcolati secondo il criterio dei minimi quadrati. Offrono il vantaggio di modellare bene gli andamenti globali della variabile, possono "sintetizzare" una grande mole di dati attraverso polinomi anche di basso ordine, forniscono indicazioni sul grado di approssimazione (varianza dei residui). Di contro, gli svantaggi principali propri di tali metodi, sono legati alla difficoltà di dare significato fisico a polinomi di ordine superiore a due, non forniscono valori attendibili al di fuori dell'area coperta dai dati, il criterio dei minimi quadrati all'interno di una regressione statistica presuppone la distribuzione normale degli scarti e non rappresenta un criterio di stima "robusto", cioè è molto sensibile alla presenza nei dati di valori anomali. Sul concetto di TSA si è soffermato *Matheron*[1] sottolineando che se *Z(x)* è la variabile meteoclimatica e *P(x)* il polinomio di TSA, allora *P(x)* è l'aspettazione *a priori* $\mathcal{E}[Z(x)]$, si parla in questo caso di "deriva" o "*drift*". I metodi di TSA quindi sono ampiamente utilizzati per rimuovere le componenti di tendenza spaziale prima dell'applicazione di un interpolatore locale ai residui. *P(x)* non rappresenta la "migliore" soluzione possibile, nel senso della minima varianza, come stimatore infatti non è in grado di fornire l'ampiezza dell'errore fatto dallo stimatore (varianza di stima) che è un concetto diverso della varianza dei residui ottenuta dalla TSA.

Le *serie di Fourier* approssimano segnali periodici attraverso una serie di funzioni trigonometriche. Questi metodi sono molto utili per studiare le componenti periodiche temporali di variabili spazio-tempo, fornendo diretta-

1 *"The Theory of regionalized variables and its applications"* (Les Cahier du Centre de Morphologie Mathematique de Fointanebleau, n.5, 191, 1971, pp 211)

mente informazioni sulla distribuzione delle frequenze[2]. La maggior parte delle variabili spaziali non ha andamento periodico a parte quelle che in geologia, all'interno della letteratura specifica della geostatistica, vengono descritte come "*hole effect*"[3].

Le *spline* utilizzano un insieme di funzioni definite localmente e che sono opportunamente raccordate e "smussate" secondo criteri che coinvolgono le derivate di vario ordine. In pratica si cerca di costruire una funzione "a pezzi" che mostri comunque un andamento continuo, addolcito e non spigoloso nei punti di raccordo. Nelle applicazioni si utilizzano più spesso *B-spline*[4], ottenute dalla somma di *spline* che hanno valore nullo al di fuori del loro intervallo offrendo così un grande vantaggio dal punto di vista computazionale. *B-spline* di alto ordine non possono modellare punti angolosi. Le *spline* con tensione sono *spline* per le quali si esercita un controllo sulla curvatura (la tensione "contrasta" la curvatura) attraverso le derivate. È possibile modellare funzioni anche nelle celle senza valori campionati, fondamentale per l'estrapolazione, e il controllo sulle derivate seconde può, in alcuni casi, avere significato fisico. Tale controllo viene effettuato aggiungendo delle equazioni di pseudo-osservazioni con peso opportuno[5]. L'utilizzo delle *spline* ha il vantaggio di produrre velocemente i risultati, di modellare opportunamente gli andamenti locali e di visualizzare efficacemente i risultati. Lo svantaggio principale è quello di non fornire indicazioni sugli errori di approssimazione né sulla varianza di stima. Le *spline* di ordine alto, inoltre, non rappresentano opportunamente punti angolosi.

La *media mobile* è ottenuta dalla media dei valori nell'intorno del punto da stimare, usando una finestra simmetrica centrata su questo punto, geometricamente definita come cerchio o quadrato rispettivamente di raggio o lato prefissato. L'ipotesi implicita è il comportamento isotropico della variabile. La dimensione della finestra è determinante per il risultato: finestre piccole esaltano le alte frequenze di contro quelle grandi, riducendole, realizzano un effetto di addolcimento o *smoothing* della superficie finale risultante. Pur utilizzando solo il vicinato, i dati in esso compresi sono trattati tutti nello stesso modo. Per tenere conto della distanza dei dati rispetto al punto di interesse si può pesare il loro contributo attraverso una "funzione distanza", ad esempio l'inverso della distanza fra questi ed il punto. Tali metodi prendono il nome di *inverse distance weight* (IDW). Hanno il vantaggio di realizzare un calcolo veloce e di implementare direttamente l'idea di influenza dei valori campionati in funzione della distanza. Il *grid* ricostruito con l'IDW produce una superficie che dipende dalla funzione peso utilizzata e dalla forma e dimensione della finestra, è sensibile a *clusters* di dati, risente della presenza di *trend* spaziali. Infine tali metodi non forniscono stime sull'attendibilità dei risultati.

2 D. E. Myers, "Estimating and Modeling Space-Time Variograms", McRoberts, R. et al. (eds). Proceedings of the joint meeting of The 6th International Symposium On Spatial Accuracy Assessment In Natural Resources and Environmental Sciences and The 15th Annual Conference of The International Environmetrics Society, June 28 – July 1 2004

3 *www.gaa.org.au/pdf/gaa_pyrcz_deutsch.pdf*

4 *www.imperial.ac.uk/nhli/r.newson/papers/*bspline*.pdf*

5 Loader, C. (2004) Smoothing: Local Regression Techniques. Handbook of Computational Statistics, Editors: Gentle, J. Hardle, W. e Mori, Y., Springer-Verlag, Heidelberg

L'*approccio geostatistico* è l'insieme dei metodi e delle tecniche basate su ipotesi di natura probabilistica. Esso rappresenta una possibile risposta al principio esposto da Tobler[6] (1979) "*Everything is related to everything else, but near things are more related distant things*" che viene spesso indicato come prima legge della geografia. Tale legge postula un modello plausibile per il quale "punti vicini hanno mediamente valori simili" riferendo il concetto di "vicinanza" alla scala di osservazione del fenomeno. Il legame fra punti vicini può essere espresso in due modi: a) attraverso delle relazioni i cui parametri hanno un significato fisico definito *a priori*, è il caso dei modelli deterministici; b) attraverso gli strumenti statistici che possono indicare il grado di somiglianza tra le caratteristiche di un oggetto in un punto con quelle degli oggetti vicini, il legame fisico va interpretato a *posteriori.* La geostatistica avoca la seconda modalità.

La geostatistica richiede conoscenze *a priori* sulle variabili oggetto di studio e sui loro fenomeni sottogiacenti per poter "tarare" al meglio il variogramma e ottenere la migliore prestazione possibile dall'interpolatore. È necessario riflettere preliminarmente su molti aspetti, ad esempio quanto la grandezza nella scala temporale di integrazione vari in funzione della distanza, quanto la grandezza possa essere correlata ad altre caratteristiche fisiche (es: altimetria con la pioggia, temperatura con la vicinanza del mare), quanto ciclicità o periodicità temporale possano essere di ausilio nella stima spaziale. L'analisi della struttura spaziale o spazio-temporale della variabile è la fase che permette di costruire il variogramma. L'applicazione di una metodologia di *gridding* (interpolazione, simulazione, probabilità di superamento di soglie critiche) è la fase successiva. Un grosso rischio nell'uso della geostatistica è la sua applicazione come *black box*: è possibile farlo perdendo così tutti i vantaggi che sono quelli di orientare gli "strumenti" della geostatistica verso le conoscenze *a priori* sulla variabile.

A supporto della scelta dell'approccio geostatistico nella ricostruzione spaziale delle variabili meteo climatiche si mettono in evidenza le considerazioni di seguito descritte.

Fornisce elementi aggiuntivi alla stima

La geostatistica è in grado di fornire una risposta immediata alla necessità di costruire le mappe delle variabili meteo-climatiche per assumere decisioni in condizioni di incertezza. Essa fornisce come risultato due *grid*: il primo è la stima di tali variabili e il secondo è la varianza di stima, interpretabile come intervallo di incertezza della stima. Nel caso in cui le variabili siano di tipo normale la varianza di stima può essere utilizzata per costruire un intervallo di confidenza della stima ad una prefissata probabilità (*95%*, *99%*).

L'attuale sviluppo tecnologico supporta convenientemente i tempi di elaborazione

L'evoluzione tecnologica delle piattaforme rende attualmente ininfluente il vantaggio dei tempi di calcolo nella produzione delle stime del grigliato da parte di alcuni metodi rispetto a quelli più onerosi della geostatistica.

Esprime attraverso il variogramma il concetto che "punti vicini hanno mediamente valori simili"

La geostatistica risponde alla prima legge della geografia attraverso una interpretazio-

6 Tobler W (1979), Cellular Geography. In: "Philosophy in Geography" (Gale S, Olsson G eds). D.Reidel Publishing Co., Dordrecht, Holland, pp. 379-386

ne stocastica della variabile meteo-climatica. Attraverso le ipotesi intrinseche del primo e del secondo ordine si introduce il concetto di variogramma che modellizza le variazioni in funzione della distanza. *Tobler* fornisce le indicazioni sulla modalità con la quale devono comportarsi queste variazioni: esse devono mostrarsi crescenti, cioè tanto più i punti sono vicini fra loro quanto meno essi devono variare, almeno fino ad una certa distanza dopo la quale il fenomeno sottogiacente può diventare non correlato: questo è esattamente il comportamento atteso dal variogramma.

Può nello stesso tempo essere una interpolazione o una approssimazione.

Il tipo di continuità spaziale delle variazioni rappresentate dal variogramma è espresso da una funzione monotona strettamente crescente che nell'origine può o non può assumere valore nullo. Se lo assume vuol dire che non c'è variazione quando la distanza è nulla fra due punti, cioè si è localizzati su un solo punto. Un modello di variogramma siffatto utilizzato all'interno di una tecnica di ricostruzione spaziale geostatistica produce una interpolazione, restituendo nei punti strumentati il dato misurato. Se, al contrario, nell'origine il variogramma assume un valore non nullo, cosidetto "*nugget effect*", la stessa tecnica non riproduce il dato misurato. La geostatistica, quindi, può essere utilizzata sia come interpolazione che come approssimazione.

Può essere applicata localmente tenendo presente il trend spaziale.

Le conoscenze fisiche *a priori* sui fenomeni permettono spesso di ipotizzare un *trend* o *drift esterno* e definirne la forma matematica. Il *drift* può essere gestito all'interno della geostatistica attraverso una opportuna tecnica detta "kriging universale" oppure eliminandolo dai dati e considerando solo i residui. Effetti spaziali non spiegati *a priori* possono essere rilevati dall'andamento del variogramma che può crescere al crescere della distanza dei punti senza assestarsi intorno ad un valore (varianza dei dati). La geostatistica può gestire quindi sia *drift esterno* che *trend* spaziale pur operando localmente nella produzione delle stime.

Può essere formalmente equivalente alle spline

È di settembre 1980 il contributo di *Matheron*[7] con il quale è stata prodotta la dimostrazione dell'equivalenza formale dei due metodi di interpolazione *spline* e geostatistico del *kriging*.

Può gestire le periodicità

Le periodicità spaziali, se presenti, sono rilevabili dal variogramma e opportunamente modellizzabili. Le periodicità sono rilevabili nella ricostruzione spazio-temporale delle variabili meteo-climatiche qualora si scomponga il variogramma spazio-tempo in opportune combinazione di modelli validi separatamente nello spazio e nel tempo.

Può dimensionare opportunamente la finestra di selezione locale

La modalità con cui effettuare la stima locale nella ricostruzione del *grid* è dettata da parametri del variogramma: la distanza di massima influenza fra punti dopo la quale il fenomeno sottogiacente diventa non correlato può diventare la misura della finestra dell'intorno del punto da stimare.

7 "Spline set Krigeage: leur equivalence formelle" Fontainebleau/CGMM, n-667, 1980, p. 26

Può gestire le anisotropie nella produzione delle stime

L'anisotropia è una decisione che l'approccio geostatistico può gestire e tenerne conto all'interno dei metodi di ricostruzione del *grid*. Il dettaglio è presentato nel successivo paragrafo 3.1.1.

3.1 Geostatistica

La variazione spaziale di una grandezza meteo climatica può contenere componenti sia sistematiche o deterministiche che casuali. La variabilità sistematica consiste in un cambiamento graduale e ben definito, detto *drift o trend*[8], che può essere interpretato in termini di fattori o processi agenti ad una data scala più grande di quella di osservazione del fenomeno. Oltre a questa componente della variazione, vi sono anche delle differenze che non possono essere attribuite a cause note, ricadenti cioè sotto il diretto controllo dello sperimentatore: è questa parte dell'eterogeneità globale, che sfugge all'interpretazione, che viene chiamata casuale. Ne segue, pertanto, che la variabilità spaziale è il risultato di molti fattori interagenti su di un *continuum* spazio-temporale: quelli che operano su grandi distanze e per lunghi periodi di tempo (ad esempio l'azione degli agenti atmosferici caratterizzanti il clima) vengono a loro volta modificati da altri processi che agiscono a più breve distanza spaziale o temporale (fattori meteorologici).

Questa natura tipicamente gerarchizzata (*nested*) della variabilità naturale fa sì che il tipo e le cause di variazione dipendano sensibilmente dalla scala di osservazione. La variazione spaziale di qualunque fenomeno può essere espressa come somma di:

- una componente deterministica, relativa ad un valore medio costante o ad una variazione graduale a lungo raggio, generalmente descritta da un polinomio;
- una componente casuale correlata spazialmente;
- un rumore ("*white noise*") o errore residuo non correlato spazialmente.

Se con x_i indichiamo il vettore posizione, allora la variabile spaziale Z nel punto x_i è data da:

$$Z(x_i)=m(x_i)+\varepsilon'(x_i)+\varepsilon''$$

ove $m(x_i)$ è una funzione deterministica che descrive la componente di *trend*; $\varepsilon'(x_i)$ rappresenta il residuo da $m(x_i)$ di natura stocastica, variabile localmente e dipendente spazialmente, e ε'' il termine di errore, indipendente spazialmente, con media zero e varianza σ^2.

Una *variabile regionalizzata z(x)* può essere considerata una particolare manifestazione o "realizzazione" di una variabile casuale, definita per ogni fissata posizione *x* all'interno della regione di spazio considerata.

Se si considerano tutti i possibili valori che la *z(x)* può assumere in tutti i punti dello spazio, si ha che essa rappresenta un membro di una serie infinita di variabili casuali a cui si dà il nome di *funzione casuale, Z(x)*.

Per poter fare inferenza statistica è necessario che le variabili regionalizzate soddisfino una qualche ipotesi di "stazionarietà", ovvero di omogeneità statistica applicata ai loro momenti di determinato ordine. Esistono diversi tipi di stazionarietà. Una funzione casuale,

8 Per *drift* si indica la forma matematica che esprime una conoscenza fisica nota *a priori* che lega la variabile in esame con altre grandezze. Per *trend* si indica l'effetto spaziale non spiegato *a priori*, che definisce una monotonia sistematica crescente o descrescente in funzione della posizione.

$Z(x)$, si dice *stazionaria di primo ordine* se, per ogni punto x, si verifica che il valore atteso (momento del primo ordine) $E[Z(x)]$ è uguale ad un valore costante m. Da ciò segue che

$$E[Z(x)-Z(x+h)]=0$$

ove h è il vettore distanza fra due generiche posizioni spaziali e la differenza fra $Z(x)$ e $Z(x+h)$ è detto "residuo".

Verificata la stazionarietà del primo ordine, si ha una *stazionarietà del secondo ordine* quando la covarianza spaziale $C(h)$ di ogni coppia di valori $Z(x)$ e $Z(x+h)$ è indipendente da x ed è funzione unicamente del vettore distanza h, ovvero:

$$C(h)=E[(Z(x)-m)(Z(x+h)-m)]$$

Dalla stazionarietà della covarianza segue la stazionarietà della varianza campionaria s^2. Infatti, ponendo nella precedente relazione $h = 0$, si ottiene:

$$C(0)=E[(Z(x)-m)^2]=s^2$$

Una ipotesi del secondo ordine più debole è l'*ipotesi intrinseca*. Richiede che, per tutti i vettori h, la varianza *var* del residuo $Z(x) - Z(x+h)$ sia finita ed indipendente dal punto di appoggio x, ovvero:

$$var[Z(x)-Z(x+h)]=E[Z(x)-Z(x+h)]^2=2\gamma(h)$$

La funzione $\gamma(h)$ è detta semivarianza o semivariogramma o variogramma *tout-court*.

3.1.1 Analisi della dipendenza spaziale attraverso il variogramma

I concetti di variabile regionalizzata e di stazionarietà intrinseca rappresentano i presupposti teorici per l'analisi della dipendenza spaziale che avviene attraverso il semivariogramma: la semivarianza fra due punti dipende unicamente dal modulo e dalla direzione del vettore h ma non dalle posizioni geografiche assolute di questi punti.

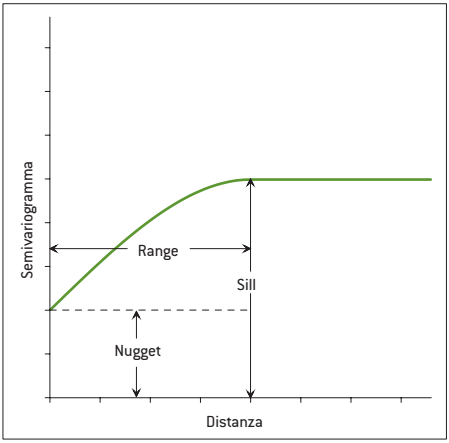
Nel caso in cui sia valida una stazionarietà del secondo ordine, è possibile esprimere la semivarianza $\gamma(h)$ in termini di covarianza spaziale $C(h)$ e di varianza spaziale $C(0)$ di una variabile regionalizzata $z(x)$, secondo la relazione:

$$\gamma(h)=C(0)-C(h)$$

Per ogni direzione prescelta, la semivarianza viene generalmente rappresentata mediante un grafico di $\gamma(h)$ in funzione di h.

Ci si aspetta che la semivarianza dovrebbe aumentare con la distanza fra i punti, fino a raggiungere un valore più o meno costante (*sill*) ad una data distanza di separazione (*range*) (Figura 3-1).

Figura 3-1 – Semivariogramma teorico.

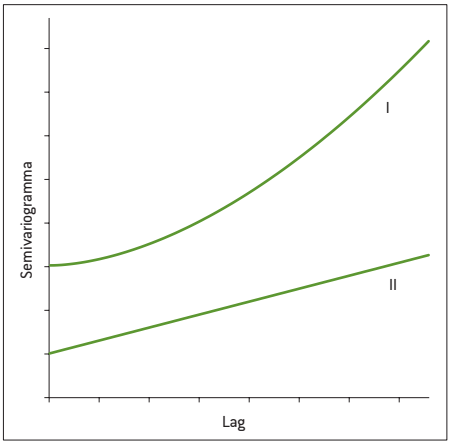


Il *sill* dovrebbe approssimare la varianza campionaria s^2 della variabile. I campioni separati da una distanza più grande del *range* possono considerarsi spazialmente non correlati, in quanto una semivarianza uguale a s^2 implica variazione casuale. Non tutti i semivariogrammi sperimentali presentano, però, questo an-

damento: alcuni possono aumentare in maniera monotona, non mostrando *range* e/o *sill* ben definiti, manifestando così la presenza di un fenomeno di *trend* e quindi di mancanza di stazionarietà (Figura 3-2).

Il semivariogramma dovrebbe passare per l'origine. In molti casi si può presentare una varianza non nulla quando *h* tende a zero (Figura 3-1); questa discontinuità nell'origine, chiamata effetto *nugget*, è dovuta a variabilità a microscala o, comunque, ad una scala più piccola di quella descritta dal campionamento e/o ad errori di misura.

Figura 3-2 – Esempi di variogrammi non limitati superiormente.



Le caratteristiche più importanti di un variogramma sono di seguito descritte.

Effetto Nugget Puro

Si dirà che il semivariogramma presenta un *puro effetto nugget*, quando γ(*h*) è costante per tutti i valori di *h*. Ciò si verifica quando è presente una notevole variazione da punto a punto, anche a brevi distanze di separazione, e indica assenza di correlazione spaziale, almeno alla scala di campionamento usata.

Più alto è l'effetto *nugget* relativo (espresso, cioè, in percentuale del *sill* totale), più ristretta è la zona di correlazione spaziale fra i campioni. Il *nugget* relativo può essere interpretato come una misura della mancanza di conoscenza della variabilità su piccola scala. Un alto valore di *nugget* relativo rappresenta l'inadeguatezza del campionamento a cogliere la variabilità spaziale della grandezza in esame.

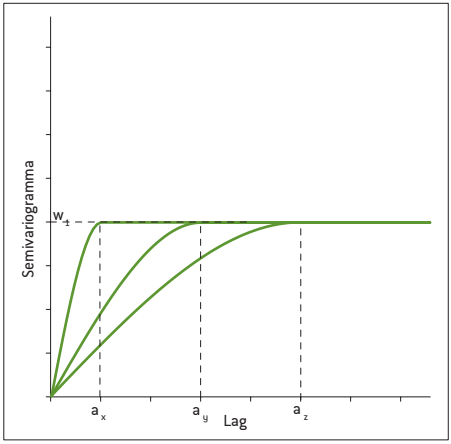
Range di Influenza

Il *range* è interpretato come la distanza alla quale i valori non hanno più alcuna relazione. È evidente che la scala di osservazione del fenomeno prodotta dalla rete di campionamento è un fattore influente sul *range*.

Modelli Anisotropici

I fenomeni spaziali, in realtà, presentano molto spesso degli evidenti effetti direzionali. Vi sono due tipi di anisotropia: quella più semplice si verifica quando lo stesso modello di variogramma e lo stesso *sill* sono comuni a tutte le direzioni, mentre cambia unicamente il *range* (Figura 3-3).

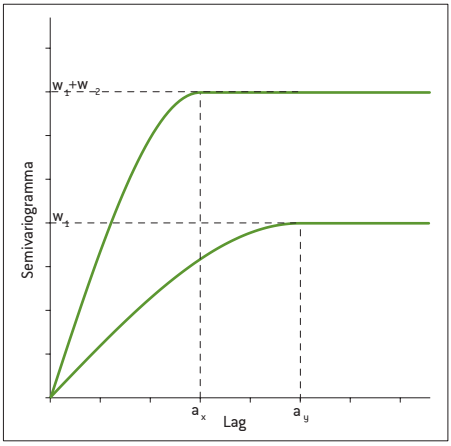
Figura 3-3 – Esempi di variogrammi direzionali nel caso di anisotropia geometrica.



In queste situazioni si ha un unico *sill* che viene raggiunto dal semivariogramma a distanze diverse di *range*. In particolare si avrà una determinata direzione in cui il *range* risulta massimo (r_{max}), mentre in quella ortogonale risulta minimo (r_{min}). Questo tipo di anisotropia è detta *geometrica* e il rapporto fra il *range* minimo e quello massimo è noto come *rapporto di anisotropia*: $R = r_{min}/r_{max}$.

Agli assi principali dell'ellisse di anisotropia geometrica si può dare la seguente interpretazione: la direzione dell'asse maggiore corrisponde a quella lungo la quale il processo spaziale appare più continuo e quindi più fortemente correlato; l'opposto vale per la direzione ortogonale. Il più delle volte, comunque, non si sa nulla circa l'esistenza di possibili anisotropie. In tali circostanze, ammesso di disporre di un numero adeguato di dati, 4-6 direzioni sono generalmente sufficienti a rivelare differenze anisotropiche e quindi ad individuare le direzioni di massima e minima continuità spaziale.

Figura 3-4 – Esempi di variogrammi direzionali nel caso di anisotropia zonale.

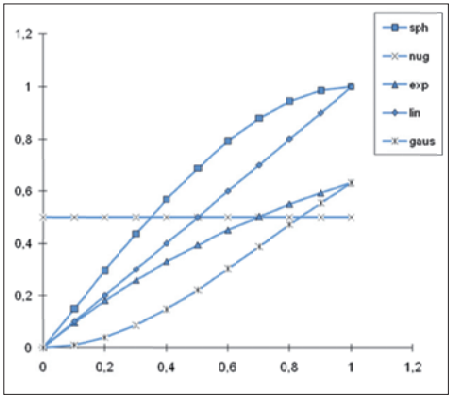


Nell'anisotropia zonale invece può cambiare lungo le direzioni sia il tipo di struttura spaziale che il *sill*. In questo caso non è più possibile trasformare il semivariogramma originario in un altro equivalente isotropico, ma si usa un modello *nested* (Figura 3-4), cioè un modello che diventa la somma di variogrammi, ciascuno dei quali validi all'interno del suo *range* di influenza.

3.1.2 Modelli di variogramma

Per modello si intende una funzione matematica continua che rappresenta adeguatamente il grafico del variogramma sperimentale. Il modello permette di ottenere una misura per ogni *h* da utilizzare all'interno delle tecniche di *Kriging*. Nella figura seguente (Figura 3-5) sono rappresentati con *nugget* uguale zero e *sill* uguale a 1 gli andamenti dei tipi più comuni di modelli di variogramma.

Figura 3-5 – Tipi di variogramma: sph per sferico, exp per esponenziale, lin per lineare, gaus per gaussiano e nug per nugget.



Le forme matematiche sono descritte nel seguito laddove si indica con c_0 il *nugget,* con *c* il *sill* e *a* il *range*.

Variogramma sferico: è rappresentato da una curva crescente fino al *range* (limite di influenza). Dopo il *range* le differenze quadratiche medie non cambiano e la curva diventa costante. Lo sferico è un variogramma che descrive variazioni spaziali con aree di influenza ben sviluppate e buona continuità. La formula che regola il modello sferico è la seguente:

$$\forall h \leq a \qquad \gamma(h) = c_0 + c\left(1.5\frac{h}{a} - 0.5\left(\frac{h}{a}\right)^3\right)$$

$$\forall h > a \qquad \gamma(h) = c_0 + c$$

Variogramma nugget: è caratteristico di fenomeni che le cui differenze quadratiche medie non variano al crescere delle distanze. Punti, quindi, vicini fra loro hanno un comportamento similare a quelli che sono distanti. Il grafico sperimentale del variogramma è ben approssimato da una retta orizzontale che passa attraverso il punto di *nugget* che coincide, quindi, con il *sill*. La variazione, quindi, avviene a una scala più piccola di quella rilevata dalla rete di misura.

La formula che regola il modello nugget è la seguente:

$$\forall h \qquad \gamma(h) = c_0$$

Variogramma esponenziale: è rappresentato da una curva che cresce al crescere delle distanze raggiungendo tendenzialmente il valore di *sill* all'infinito. È caratteristico di dati che hanno una limitata area entro cui si manifestano le relazioni di influenza oppure che mostrano una elevata distanza di continuità. La formula che regola il modello esponenziale è la seguente:

$$\gamma(h) = c_0 + c\left(1 - e^{-\frac{h}{a}}\right)$$

Variogramma lineare: è rappresentato da una curva che evidenzia una crescita lineare delle differenze quadratiche medie al crescere delle distanze. Per definizione, quindi, non ha né *sill* né *range* mentre può avere un effetto *nugget*.

La formula è la seguente, con ω coefficiente angolare della retta:

$$\gamma(h) = c_0 + \varpi h$$

Variogramma gaussiano: è rappresentato da una curva che inizialmente cresce lentamente con la distanza. Da una certa distanza in poi, il tasso di crescita è accelerato, assestandosi sul valore di *sill* ad un ben definito valore di *range*. Il variogramma gaussiano è caratteristico di dati con una elevata presenza di tendenza che si manifesta a piccola scala e, nello stesso tempo, un alto livello di continuità regionale. La formula che regola il modello gaussiano è la seguente:

$$\gamma(h) = c_0 + c\left(1 - e^{-\left(\frac{h}{a}\right)^2}\right)$$

3.1.3 Variografia

Il processo che parte dallo stimatore per giungere fino al modello di semivariogramma si chiama variografia. Esso è concepito in due fasi: costruzione del grafico sperimentale sulla base dello stimatore e adattamento di un modello a tale grafico (*modelling*).

Lo stimatore del semivariogramma:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2}\left\{\mathrm{var}\left[Z(x) - Z(x+h)\right]\right\} =$$

$$\frac{1}{2}\left\{E\left[Z(x) - Z(x+h)\right]^2\right\}$$

sotto l'ipotesi di stazionarietà intrinseca e di media $\mathcal{E}[Z(x)]=m(x)$ costante è rappresentato da

$$\gamma^*(\bar{h}) = \frac{1}{N(h)}\sum_{i=1}^{N(H)} E\left[Z(x_i) - Z(x_i+h)\right]^2$$

che stima, all'interno di intervalli di ampiezza multipla di una distanza prefissata (*lag*), la media delle differenze al quadrato fra tutte le coppie di osservazioni separate dalla distanza *h* <= del *lag* o suoi multipli, ove *N(h)* rappresenta il numero di coppie all'interno dello stesso *lag*.

Grafico sperimentale

Nell'analisi strutturale è necessario costruirsi più variogrammi direzionali; inizialmente, quello globale omnidirezionale, comprende tutte le coppie che si possono costruire dal campione di dimensione *N* e sono pari a *N*(N+1)*. Le decisioni da assumere in questa fase riguardano ampiezza del *lag* e il numero complessivo di *lag* che caratterizzerà l'andamento del semivariogramma sperimentale sul grafico. Il *lag* è la misura dell'intervallo, nella unità prescelta, entro la quale le differenze quadratiche saranno assimilate per esprimere una misura della relazione media esistente nei dati posti ad una distanza *h*. L'ampiezza del *lag* è generalmente dettata dalla distribuzione spaziale del campione, quindi dalla scala con cui si sta osservando il fenomeno. L'istogramma assoluto delle *N* distanze prodotte dal campione può essere uno strumento per valutare il *lag*. Osservando tale istogramma, realizzato ad un certo passo, si può conoscere quante coppie concorreranno a caratterizzare la media delle differenze quadratiche, assumendo il passo dell'istogramma come misura del *lag*. Variando il passo si deve far in modo che questo raccolga, negli intervalli iniziali, un numero statisticamente significativo di distanze, la pratica suggerisce almeno 20. Il numero di *lag* è determinato dal numero di intervalli consecutivi dell'istogramma che hanno un numero significativo di distanze al loro interno.

Il valore e il numero di *lag* diventano gli elementi che caratterizzano l'asse delle ascisse del variogramma sperimentale.

Una generica coppia di valori $z(x_i)$,$z(x_j)$ georeferenziati produce a) una distanza d_{ij} riferita alla loro posizione spaziale x_i e x_j b) una differenza al quadrato riferita ai valori da essa espressi: per ciascuna distanza d_{ij} va ricercato il *lag* che la contiene e va rappresentata la differenza quadratica sull'asse delle ordinate. Il variogramma sperimentale deve riprodurre continuità spaziale, un andamento, cioè, crescente rispetto al modulo di *h*. Per ciascun *lag* ci si calcola la media delle differenze quadratiche e si osserva il loro comportamento sul grafico sperimentale: l'attesa è che questo sia crescente. Qualora non si riscontri tale continuità spaziale, fra le possibili cause si può ritrovare l'inadeguatezza della distribuzione del campione a cogliere la scala entro la quale si realizza la continuità del fenomeno e quindi, le possibili azioni da intraprendere sono:

- aumento dell'ampiezza del *lag*. La selezione ottimale di un *lag* si realizza in questa fase. Può essere necessario modificare la misura del *lag* con l'obiettivo di ritrovare la continuità. La selezione di un *lag* 'troppo corto' si riflette sul grafico attraverso un gran numero di fluttuazioni locali o rumore; al contrario un *lag* 'troppo grande' manifesta un grafico altamente addolcito;
- esame delle differenze quadratiche medie all'interno dei primi *lag* con l'obiettivo di esaminare quali coppie, a distanze pressoché simili, mostrino uno scarto elevato fra i valori da esse misurate (*outliers*) e tali da provocare discontinuità spaziale. Dopo aver indagato sulle possibili cause si deve decidere se il comportamento degli *out-*

liers sia dovuto ad effetti locali e, quindi, come tali essi sono da escludere.

Nel caso in cui sul grafico del semivariogramma sperimentale si intraveda una continuità che non si assesti intorno ad un valore di *sill*, può essere messa in discussione l'assunzione che la $\mathcal{E}[Z(x)]$ sia rappresentata da una funzione $m(x)$ di valore costante. Infatti, se così non fosse, allo stimatore formulato precedentemente deve essere aggiunta la seguente parte:

$$\frac{1}{N(h)}\sum_{i=1}^{N(H)}\left[m(x_i+h)-m(x_i)\right]^2$$

Se, ad esempio, $m(x)$ fosse una funzione lineare, il grafico sperimentale del semivariogramma mostrerebbe una andamento di tipo parabolico.

L'andamento crescente di tipo lineare del grafico è caratteristico di dati in cui non è stata separata la componente locale da quella a grande scala. Generalmente tale comportamento è il risultato di una variabile altamente continua che cresce o decresce di una fissata quantità per unità di distanza. Le azioni da attivare, in questo caso, prevedono una TSA per eliminare tale componente dai dati e riproporre la variografia sui residui.

Modelling

Il secondo passo della variografia è la determinazione del tipo di modello e dei suoi parametri (*nugget, range, sill*) per il grafico sperimentale dello stimatore. Può avvenire automaticamente attraverso tecniche di *bestfitting* non lineare o in modo semiautomatico attraverso l'ispezione visiva del grafico e l'utilizzo di un opportuno software che permetta di visualizzare il modello, impostato dal variografo, sui punti sperimentali.

In entrambe le modalità la verifica della bontà di adattamento avviene attraverso la procedura di *jacknifing*, detta anche di *crossvalidation*. Nel caso in cui sia la consistenza numerica del campione permetta di estrarne un sottoinsieme indipendente da utilizzare esclusivamente nella validazione e non nella stima del variogramma si può procedere con la modalità di *bestfitting* automatico. Nella maggior parte dei casi attraverso la *crossvalidation* si estrae un elemento del campione alla volta e se ne stima il suo valore con i restanti, utilizzando la tecnica del *Kriging* ordinario. Tale tecnica prevede l'uso del modello teorico di variogramma alla cui determinazione ha concorso il punto estratto. Ciò introduce un fattore di sistematicità nella modalità automatica che molti autori non giustificano, fra questi Gutjahr[9], suggerendo più convenientemente quella semiautomatica.

Il *fitting* semiautomatico del modello e dei suoi parametri si affida all'intervento del variografo che assume decisioni in merito in modo soggettivo e non arbitrario. Esistono delle regole pratiche che potrebbero addirittura essere codificate. Usando un *software* grafico, il *nugget* è costruito prolungando la linea retta che passa tra i primi due valori sperimentali di, fino ad incontrare l'asse delle ordinate: il valore del *nugget* è il valore di tale intersezione. Nel caso di intersezione negativa il valore del *nugget* si assume uguale a zero in quanto un valore negativo non ha nessun

9 Gutjahr, Allan. 1985. Spatial variability: geostatistical methods. pp9-34 IN D.R. Nielsen and J. Bouma (eds.). Soil Spatial Variability. Proceedings of a workshop of the ISSS and the SSSA Las Vegas, USA. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, Netherlands

significato fisico. La decisione finale se impostare un *nugget* spetta al variografo.

Il *range* di un variogramma sferico può essere inizialmente ottenuto usando la "regola 2/3" che consiste nel seguente percorso:

1. determinazione sull'asse delle ordinate del punto cui il variogramma si assesta (*sill*);
2. disegno di una linea orizzontale nel punto di *sill*;
3. disegno di una linea inclinata che passa attraverso il secondo e il quarto punto del grafico sperimentale. Questa linea deve proseguire fino ad intersecare in un punto la retta del *sill*: l'ascissa di tale punto si assesta intorno ai 2/3 del *range*.

Il *range* per un variogramma esponenziale e gaussiano è ottenuto attraverso la regola, rispettivamente, di "1/3" e "3 " seguendo il processo descritto per il variogramma sferico considerando però che l'ascissa, in questi casi, relativa all'intersezione delle due rette è, rispettivamente, 1/3 e 3 del *range*.

Queste regole pratiche hanno un fondamento teorico descritto da Journel e Hujbregts[10] a pag. 121 e sono deducibili dal grafico che riporta i tre modelli precedenti nel paragrafo 3.1.2.

La qualità del modello teorico può essere valutata attraverso alcune statistiche che riguardano i risultati della *cross validation*.

La differenza fra la stima e il valore sperimentale rappresenta l'errore sperimentale o residuo. Un criterio generalmente usato per valutare la bontà del modello consiste nel calcolare la media (U) di tale residuo e aspettarsi che sia il più vicino possibile a zero, evitando di introdurre così effetti sistematici di sovrastima o sottostima:

$$U = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} z(i) - z^*(i)$$

La varianza del residuo dovrebbe, inoltre, essere quanto più vicina possibile alla varianza della stima del *Kriging* (*var Kri*(*i*)), per cui il rapporto fra i due tipi di varianze (V^2) dovrebbe approssimare l'unità:

$$V^2 = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} \frac{[z(i) - z^*(i)]^2}{\text{var Kri}(i)}$$

Come ulteriore indice di qualità del modello può essere usato il coefficiente di correlazione relativo alla regressione lineare fra i valori misurati e le stime. Rappresenta la proporzione di varianza campionaria spiegata dalle stime di Kriging, per cui può essere interpretata anche come una misura approssimata dell'efficienza del modello a riprodurre la popolazione campionata.

La cross-validation è di ausilio nella determinazione di eventuali anomalie nei dati del campione. In pratica, dividendo ogni residuo per la corrispondente deviazione standard della stima del kriging, si ottengono i cosiddetti residui ridotti, la cui distribuzione dovrebbe essere, in caso di bontà del modello, ben approssimata da una distribuzione normale standardizzata che permette di individuare i dati per i quali il residuo ridotto ecceda un assegnato limite di confidenza. In pratica tutti gli *outlier* che giacciono esternamente al limite di confidenza del 99% vengono definiti punti non robusti. Una indagine più approfondita sulla posizione ed il valore dei punti non robusti potrebbe portare alla indi-

10 Journel A,, Huijbrechts C,, 1978, 'Mining Geostatistics', Academic Press, London, pp 258

viduazione di anomalie spaziali nei dati che, motivatamente escluse o corrette, potrebbero migliorare notevolmente le performance del modello. La ipotesi di approssimazione della distribuzione dei residui ridotti alla normale standardizzata ci consente di utilizzare il valore 2.5 che, come noto, rappresenta l'intervallo di confidenza al 99%.

Il confronto tra la distribuzione dei residui ridotti e la normale standard si può effettuare sia qualitativamente e sia attraverso strumenti grafici come i *plot P-P* o di *Box & Whiskers*. I test descritti finora, comunque, sono semi-empirici, a causa della difficoltà a definire i gradi di libertà delle statistiche, per cui l'ipotesi "nulla" non può essere oggettivamente accettata o rifiutata ad un dato livello di probabilità. Un approccio più rigoroso alla valutazione della similitudine tra le due distribuzioni consiste nell'uso di test non parametrici, come il test di *Kolmogorov-Smirnov*.

Un'ulteriore utile verifica della bontà del modello, può essere desunta dal confronto tra i valori delle stime ed i corrispondenti residui ridotti. Un buon modello di stima spaziale implica, necessariamente, l'indipendenza lineare tra le stime ed i corrispondenti residui ridotti. Questo, infatti, si spiegherebbe con la capacità del modello a catturare l'intera struttura del fenomeno spaziale soggiacente ai dati, lasciando, come residuo, unicamente il "rumore bianco", inevitabilmente presente nelle misure.

La migliore misura della non correlazione tra stime e residui ridotti è, ovviamente, il coefficiente di correlazione tra le due grandezze; un buon modello sarà caratterizzato da un valore di correlazione molto prossimo a 0.

3.1.4 Tecniche di kriging

Gridding è l'operazione di riempimento, con valori stimati o simulati, di un reticolo che sia idealmente sovrapposto al territorio in esame. Il reticolo è caratterizzato da *nr* x *nc* punti equamente spaziati in modo rispettivamente orizzontale e verticale tali da caratterizzare rettangoli o maglie. Mediante le tecniche di interpolazione stocastica del *Kriging* è possibile stimare i valori del reticolo nel baricentro di ciascuna maglia.

Esistono diversi tipi di *Kriging*, tra questi rivestono importanza per gli scopi di questo *report* il *Kriging* semplice (KS), ordinario (KO) e universale (KU). Tutte sono tecniche di tipo lineare. Le prime due si applicano convenientemente nel caso in cui si ipotizzi una variabile stazionaria del prim'ordine che presenti media costante incognita (ordinario) o nota *a priori* (semplice). Il *Kriging* universale (KU) riguarda variabili non stazionarie di cui si ipotizzi un *trend*. In questo caso la condizione di stazionarietà può essere ristabilita attraverso l'introduzione di una funzione deterministica che descriva tale *trend*.

La scelta di quale tecnica usare è una decisione che può essere presa *a)* sulla base delle conoscenze *a priori* dei fenomeni sottogiacenti oppure *b)* può essere una conseguenza dell'analisi strutturale, nel caso in cui l'analista dovesse optare per un modello senza *sill*. La scelta può essere condizionata anche dalle prestazioni del modello valutate in base alla sua capacità di adattarsi ad un set di validazione e dalla complessità del modello stesso in termini di capacità di interpretazione e facilità di ottenere stime.

I modelli di *kriging ordinario* e *semplice* possono essere così definiti:

$$Z(x_i) = m + e(x_i)$$

dove $Z(x_i)$ è un processo stazionario (intrinseco), mentre *m* è una tendenza costante non conosciuta (localmente).

Una più ampia tipologia di modelli viene ottenuta quando l'osservazione risulta stimata dalla somma della tendenza $m(x_i)$, spazialmente non costante, con un errore (intrinsecamente) stazionario.

In particolare nel *kriging universale (KU)*[11] questo tipo di tendenza può essere calcolato come una funzione lineare delle coordinate e di altrettante costanti β_j sconosciute che determinano per l'osservazione in x_i:

$$Z(x_i) = \sum_{j=1}^{p} Y_j(x_i)\beta_j + e(x_i)$$

dove $Y_j(x_i)$, j=1, …,*p* rappresentano i valori delle covariate misurate all'i-esimo punto nella griglia e *p* rappresenta la dimensione del vettore delle coordinate.

Il termine *kriging con deriva esterna* (KED) è preferito a quello di KU se la parte deterministica di variazione (*drift*) è definita esternamente come una funzione lineare di alcune variabili ausiliarie.

Nel caso di KU o *con* KED, l'algoritmo risolutivo è lo stesso del *kriging ordinario*, con la complicazione che la matrice di covarianza dei residui è completata con i valori delle covarianze delle variabili ausiliarie. Tuttavia, la deriva e residui possono essere stimati separatamente e poi sommati. Questa procedura è stata suggerita da Ahmed et al. (1987)[12] e Odeh et al. (1995)[13] che l'hanno battezzata con il nome di *kriging con regressione*, mentre Goovaerts (1997)[14] ha utilizzato il termine *kriging semplice con medie locali variabili*.

L'ambito modellistico di riferimento, per le tecniche di Kriging, è quello probabilistico pertanto, la conoscenza di un valore nel punto generico x_0 necessita di uno stimatore $Z^*(x)$ della variazione casuale $Z(x)$. Le tecniche del Kriging fanno riferimento allo stimatore $Z^*(x)$ lineare, non distorto e a minima varianza. Le attese sono quelle di non produrre nè sottostime e nè sovrastime, così come di avere la più piccola varianza sulle differenze fra $Z^*(x_0)$ e $Z(x_0)$. Per le diverse tecniche del Kriging è sempre possibile ottenere la valutazione di tale varianza in un generico punto.

Il caso generale è rappresentato dal *Kriging* universale (KU) che assume che la media $m(x)$ possa, almeno in appropriati intorni, prendere la forma seguente:

$$m(x) = \sum a_l \cdot f^l(x)$$

laddove a_l sono *k* incogniti ma fissati coefficienti.

Lo stimatore adottato dalle tecniche del Kriging è quello lineare, rappresentato nel punto

11 Ver Hoef J (1993). Universal kriging for ecological data. In: Environmental modeling with GIS (Goodchild MF, Parks BO, Steyaert LT eds). **Oxford University** Press, New York, pp. 447-453.

12 **Ahmed, S., de Marsily, G., 1987. Comparison of geo**statistical methods for estimating transmissivity using data on transmissivity and specific capacity. Water Resources Research 23 (9): 1717–1737.

13 Odeh, I.O.A., McBratney, A.B., Chittleborough, D. J., 1995. Further results on prediction of soil properties from terrain attributes: heterotopic cokriging and regression kriging. Geoderma 67 (34): 215–226.

14 Goovaerts, P., 1997. Geostatistics for Natural Resources Evaluation. Oxford University Press, New York, p. 496.

incognito x_0 e per N valori $z(x_i)$ campionati nelle locazioni x_i dalla seguente espressione:

$$Z^*(x_i) = \sum \lambda_i \cdot z(x)$$

Le due proprietà dello stimatore, si traducono matematicamente nelle seguenti espressioni:

$$E[Z^*(x_0) - Z(x_0)] = 0$$

$$\min \text{var}[Z^*(x_0) - Z(x_0)]$$

La condizione di non distorsione dello stimatore lineare produce la seguente relazione:

$$\sum_i \lambda_i m(x_i) - m(x_0) = 0$$

cioè:

$$\sum_i a_l \left(\sum_i \lambda_i f^l(x_i) - f^l(x_o) \right) = 0$$

La precedente equazione deve essere vera per qualsiasi coefficiente incognito a_l che porta a k equazioni del tipo seguente:

$$\sum_i \lambda_i f^l(x_i) - f^l(x_o)$$

per ogni $l = 0, 1, \ldots, k$

La condizione di minima varianza dello stimatore lineare produce la seguente relazione:

$$\text{var}[Z^*(x_0) - Z(x_0)] = -\sum\sum \lambda_i \lambda_j \gamma_{ij} + 2\sum \lambda_j \gamma_{oj} - \gamma_{00}$$

laddove $\gamma_{ij}=\gamma(x_i-x_j)$, $\gamma_{0j}=\gamma(x_0-x_j)$ e $\gamma_{00}=\gamma(x_0-x_0)$

Il calcolo dei pesi λ_i diventa un problema di ottimizzazione della varianza vincolata dalla equazione di non distorsione per la cui nella soluzione intervengono i parametri μ_l, detti moltiplicatori di *Lagrange*. Il minimo è trovato derivando parzialmente $n + k$ volte rispetto ai parametri λ_j e μ_k e ponendo uguale a zero i risultati. Ciò produce un sistema di $n + k$ equazioni in $n + k$ incognite

$$\begin{cases} \sum_j \lambda_j \gamma(x_i, x_j) - \sum_l \mu_l f^l(x_i) = \gamma(x_i, x_0) \\ \sum_l \lambda_l f^l(x_i) = f^l(x_0) \end{cases} \quad (3\text{-}1)$$

Risolvendo il sistema con un appropriato metodo numerico si ottengono i pesi λ_j e μ_k con i quali è possibile stimare Z nel punto x_0 e la sua varianza di stima attraverso la seguente espressione:

$$\sigma_E^2 = b^T \begin{bmatrix} \lambda \\ \mu \end{bmatrix}$$

Nel caso del Kriging Ordinario (KO) la funzione $m(x)$ di partenza è del tipo

$$m(x)=m=a_0$$

laddove m è un valore incognito. Le equazioni risolutive vengono sviluppate nello stesso modo che il *KU* laddove in luogo del vettore μ_k si ottiene un solo coefficiente μ.

Nel caso del Kriging Semplice (KS) si conosce il valore della costante m.

Dalla eq.(3-1), si evince che nel calcolo dei pesi intervengono i variogrammi e che questi, in virtù della ipotesi di continuità spaziale, privilegeranno le misure più vicine ad x_0. Se si considerano i 4 dati disposti sugli spigoli di un quadrato e si intenda stimare il valore nel suo baricentro, il Kriging ordinario pesa 0.25 i dati relativi ai quattro vertici: il risultato è analogo a quello ottenibile attraverso un qualsiasi altro metodo deterministico. Se si assume un modello di variogramma con valore di *sill* unitario e *nugget* assente, diventa determinante il *range*, quale fattore di scala del problema:

la varianza di stima, cioè l'attendibilità da riporre nella stima, aumenta al crescere di tale fattore e in misura tanto più rilevante quanto meno continuità spaziale esiste (Figura 3-6). Infatti, fissate le misure del quadrato, la stima dell'evolversi di un fenomeno al suo interno, ha un'attendibilità che aumenta se la scala di continuità diventa molto più grande delle dimensioni del quadrato. Comunque, maggiore è la continuità spaziale e meno influente è il *range* sulla varianza di stima.

Figura 3-6 – Andamento della varianza di stima in funzione del range per tre tipi di variogramma (sferico, esponenziale, gaussiano).

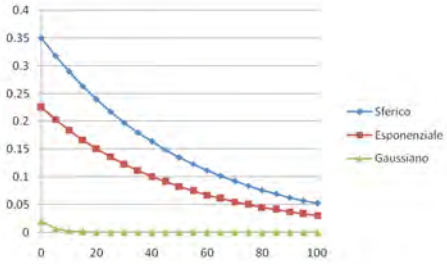
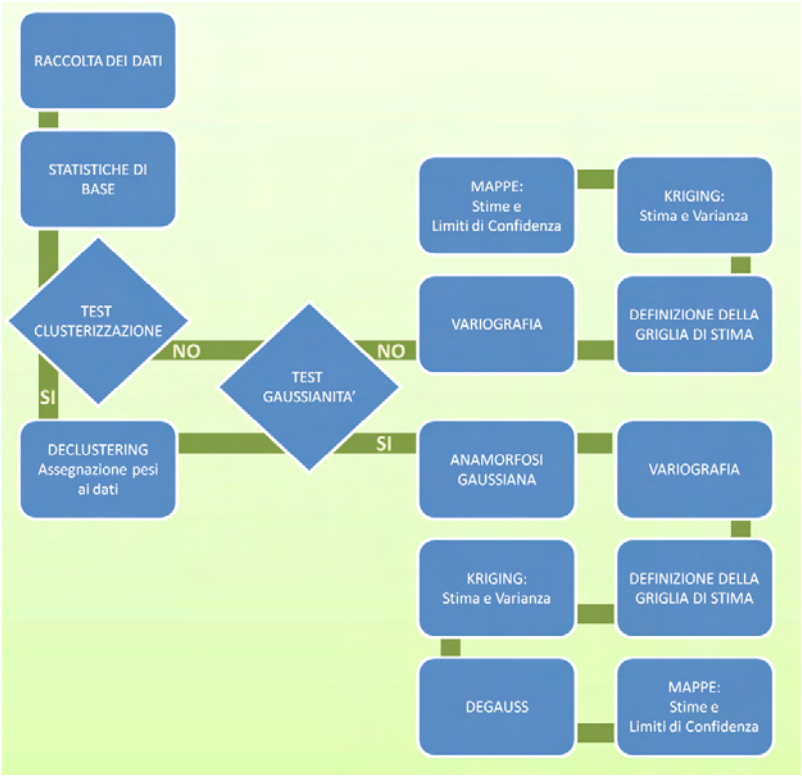


Figura 3-7 – Sintesi delle principali fasi dell'analisi geostatistica.



3.2 Fasi dell'analisi geostatistica

L'obiettivo della costruzione di una mappa attraverso l'analisi geostatistica richiede l'espletamento di un insieme di attività, alcune di queste associate a una presa di decisione: nel grafico seguente (Figura 3-7) è rappresentato l'algoritmo che guida tale analisi.

Raccolta dei dati.

I requisiti applicativi determinano le caratteristiche spaziali e temporali dei dati che vanno selezionati, raccolti ed organizzati in modo da essere trattati in modo automatico.

Statistiche di base:

I dati sono descritti attraverso statistiche quali: minimo, massimo, media, deviazione standard, errore standard dei dati, intervalli di confidenza della media. L'istogramma, i grafici di frequenza cumulati e quelli di *scatter* possono essere utilizzati per investigare visivamente sull'esistenza di valori estremi nel campione e sulla forma della distribuzione del campione.

Test di clusterizzazione

Grappoli di dati (*cluster*) possono inficiare le stime locali che sono utilizzate da tutte le tecniche di Kriging. È necessario evitare che un grappolo di N dati caratterizzi in modo pressoché esclusivo l'intorno del punto da stimare in quanto portatore di informazioni ridondanti. Il *cluster* contraddistingue un insieme di dati molto vicini fra loro: la vicinanza deve essere rapportata alla scala di osservazione del fenomeno. Al fine di accertare la presenza del fenomeno di clusterizzazione nei dati misurati da una rete di monitoraggio si utilizzano alcuni test statistici. Fra questi possono essere utilizzati quelli di tipo globale o locale. Le statistiche di tipo globale (tipo la I di Moran[15]) hanno lo svantaggio di poter identificare la presenza di cluster ma di non fornire la loro esatta posizione geografica. I test locali, pur se sostanzialmente simili nel calcolo a quelli globali (statistiche LISA), si differenziano per il fatto di essere calcolati su finestre mobili sovrapposte all'area di studio e quindi in grado di individuare eventuali cluster all'interno di sub-aree che formano una partizione dell'intera area di studio.

Declustering: assegnazione pesi ai dati.

Le procedure di *declustering*[16] hanno l'obiettivo di attribuire un peso a ciascun dato campionato che tenga in conto della sua rappresentatività spaziale oppure, secondo un'altra chiave di lettura, della sua *ridondanza* informativa sul dominio spaziale di riferimento. Sono noti vari tipi di *declustering*, quali quello a *celle*, *poligonale* e quello basato sui pesi del *kriging*. Ci sono due considerazioni alla base delle tecniche di *declustering*. La prima riguarda l'effetto dell'attribuzione di un peso che non deve cambiare il valore effettivamente misurato ma ne deve modificare solo l'influenza. La seconda riguarda la correlazione spaziale dei dati: in mancanza di questa non c'è ragione di applicare il *declustering*. In questo caso, infatti, ciascun valore campionato, indipendentemente dalla sua posizione spaziale, sarebbe un'estrazione casuale da una popolazione sottostante avente una propria distribuzione. *Declustering poligonale*: Attorno a ciascun dato campionato la tecnica costruisce i poligoni di influenza basandosi

15 Cliff A.D, J.K. Ord "Spatial autocorrelation", 1973, pg 178

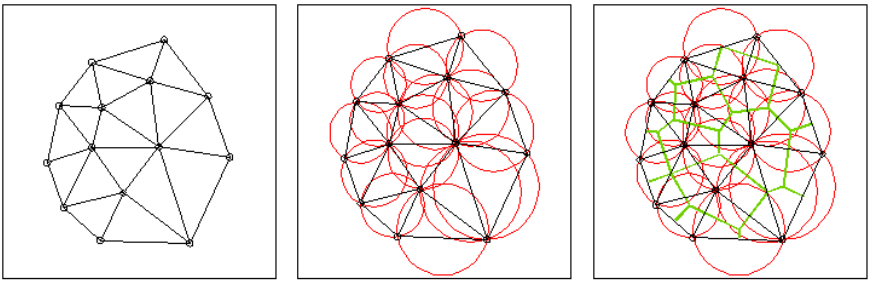
16 Deutsch, pg. 53-62, 2001; Isaaks and Srivastava, pg. 237 – 248, 1997; Goovaerts, pg. 77-82, 1997

sul diagramma di *Voronoj* che è un particolare tipo di decomposizione dello spazio metrico. Definito un insieme finito di punti S nel piano, il diagramma di *Voronoj* per *S* è la partizione del piano che associa una regione *V(p)* ad ogni punto *p* in *S* in modo tale che tutti i punti di *V(p)* siano più vicini a *p* che ad ogni altro punto in *S*. In ogni insieme (topologicamente) discreto *S* di punti in uno spazio euclideo e per quasi ogni punto *x*, c'è un punto in *S* che è il più vicino a *x*. Il "quasi" è una precisazione necessaria in quanto alcuni punti *x* possono essere equidistanti da *2* o più punti di *S*. Se *S* contiene solo due punti, *a* e *b*, allora il luogo geometrico dei punti equidistanti da *a* e *b* è un iperpiano, ovvero un sottospazio affine di codimensione 1. Tale iperpiano sarà il confine tra l'insieme di tutti punti più vicini ad *a* che a *b* e l'insieme di tutti i punti più vicini a *b* che ad *a*. È l'asse del segmento *ab*. In generale, l'insieme dei punti più vicini ad un punto *c* in *S* che ad ogni altro punto di *S* è la parte interna di un politopo (eventualmente privo di bordi) detto dominio di Dirichlet o cella di Voronoj di c. L'insieme di tali politopi è una tassellatura dell'intero spazio e viene detta tassellatura di Voronoj corrispondente all'insieme S. Se la dimensione dello spazio è solo 2, è facile rappresentare graficamente le tassellazioni di Voronoj; è a questo caso che si riferisce solitamente l'accezione Voronoj diagrams. I diagrammi di Voronoj che trovano applicazione in geofisica e in meteorologia per analizzare dati distribuiti spazialmente (come ad esempio misure delle precipitazioni) sono detti poligoni di Thiessen, dal nome del meteorologo americano Alfred H. Thiessen. La costruzione dei poligoni di Thiessen viene effettuata secondo i seguenti passi (Figura 3-8): il dominio di studio è suddiviso (partizionato) utilizzando i triangoli di Delauney. Tali triangoli sono ottenuti collegando ciascun punto ai suoi 2 più vicini. La triangolazione p condotta collegando ciascuna locazione spaziale con le 2 più vicine cercando di ottenere triangoli che siano il più possibile prossimi ad essere equilateri.

Ciascun triangolo è circoscritto da un cerchio, i centri dei cerchi così costruiti rappresentano i vertici dei poligoni di Thiessen. Ciascun cerchio deve essere caratterizzato dalle seguenti proprietà:

- nessuna locazione spaziale può ricadere in alcun cerchio;
- ciascun cerchio interseca solo 3 locazioni spaziali, i vertici dei triangoli.

Figura 3-8 — Procedura di creazione dei poligoni di Thiessen.1) Triangolazioni di Delauney;2) Circocentri; 3) Poligoni di Thiessen.



Tutti i centri dei cerchi così costruiti sono collegati l'un l'altro e il risultato sono i poligoni. Ciascun poligono conterrà una singola locazione spaziale (Proprietà di Delauney).

Alla fine l'area di ciascun poligono è calcolata ed il peso assegnato a ciascun dato è proporzionale all'area del poligono rispetto all'area dell'intera regione di interesse (che corrisponde alla somma delle aree di tutti i poligoni).

La formula corrispondente è la seguente:

$$w_j' = \frac{area_j}{\sum_{j=1}^{n} area_j} \cdot n$$

dove n corrisponde al numero dei dati (ossia alla dimensione campionaria).

Declustering per celle

La tecnica del *declustering* per celle è il metodo più comunemente applicato in geostatistica. Questo approccio è più robusto rispetto al *declustering* poligonale in quanto, a differenza di quest'ultimo metodo, l'area di influenza associata ai punti periferici è meno sensibile alla posizione del contorno dell'area studiata. Infatti, se il confine si trova lontano dai dati, col metodo del declustering poligonale, i campioni periferici ricevono un peso molto elevato, essendo l'area del poligono di influenza altrettanto vasta.

I passi della procedura di declustering a celle è la seguente:

1) Sovrapposizione di una griglia regolare alla configurazione dei punti di misura;
2) Assegnazione di un peso inverso rispetto al numero di punti di misura ricadenti in ogni cella; Standardizzazione dei pesi dividendo per il numero di celle contenenti punti di misura.
3) Per ogni cella della griglia il peso associato ad ogni campione in essa contenuto è calcolato con la seguente formula:

$$w_j' = \frac{\frac{1}{n_i}}{\text{number of cells with data}} \cdot n$$

dove n_i è il numero di campioni che si trovano nella cella in cui ricade il campione *j*-esimo ed *n* è il numero totale di celle contenenti campioni.

Declustering con i pesi del Kriging

Un'altra tecnica applicata per il calcolo dei pesi del *declustering* è quella eseguire un kriging della zona di interesse e di sommare i pesi applicati ad ogni condizionamento di dati e quindi di standardizzare tali somme. Ciò è analogo ad eseguire il block kriging sull'area di interesse. Questa tecnica è simile al *declustering* poligonale in quanto può risultare distorto dai dati posti vicino ai confini dell'area di interesse. Inoltre, questo metodo è sensibile ai parametri di ricerca. Esso ha il vantaggio di poter integrare anche informazioni sulla continuità territoriale della popolazione attraverso il variogramma. I pesi del kriging sono determinati nel seguente modo:

1) si sovrappone una griglia regolare all'area di interesse;
2) si stima il valore della variabile di interesse ad ogni nodo della griglia;
3) ad ogni valore del set di campioni si attribuisce un peso calcolato nel seguente modo: si somma tutta la successione di pesi che, volta per volta, sono stati attribuiti al campione per stimare, in successione, i nodi della griglia;
4) tale somma viene opportunamente mediata o normalizzata.

Poichè il *declustering* con i pesi del kriging è un metodo di approssimazione discretizzata, l'approssimazione migliora se si migliora la risoluzione della griglia. Purtroppo il metodo ha un ovvio svantaggio: in teoria la declusterizzazione dovrebbe essere fatta a monte dell'interpolazione mentre in questo caso avviene a valle di essa e necessita quindi un rifacimento di tutto il processo che va dall'analisi strutturale (variografia) fino al ricalcolo delle stime con i valori pesati.

Test di gaussianità

L'utilizzo delle metodologie geostatistiche di interpolazione non richiede l'ipotesi che la popolazione di riferimento sia di tipo normale. Tale precondizione è necessaria nel caso in cui si intenda utilizzare la varianza di stima per caratterizzare l'intervallo di confidenza della stima. In questo caso, quindi, è necessario applicare un test di gaussianità dei dati. Sono disponibili un gran numero di tecniche sia quantitative sia qualitative per testare la rispondenza dei dati alla distribuzione normale. Tra le tecniche qualitative va menzionato il q-q plot, tale metodo pone a confronto il set di dati con una distribuzione gaussiana teorica avente media e deviazione standard uguale a quelle dei dati stessi. L'interpretazione di tale rappresentazione grafica è immediata: i dati teorici sono rappresentati tramite una linea continua che forma un angolo di 45° con gli assi coordinati mentre i dati empirici sono rappresentati con punti: se questi si dispongono lungo la linea, si può affermare che seguono la distribuzione teorica. Le tecniche quantitative sono basate sull'ipotesi nulla è che i dati seguano la distribuzione teorica assegnata (nel nostro caso quella gaussiana ma il discorso è generalizzabile a qualunque distribuzione teorica). Esistono in letteratura numerosi test di gaussianità che si differenziano tra loro per la diversa potenza ossia per la probabilità di riconoscere la falsità dell'ipotesi nulla quando essa è effettivamente falsa. Tra i test più ricorrenti in letteratura ci sono lo Shapiro-Wilk (per piccoli campioni), Shapiro-Francia (per grandi campioni) che sono riconosciuti come quelli dotati di maggior potenza, altri test molto noti sono il Lilliefors e il Kolmogorov-Smirnov.

Anamorfosi gaussiana.

Il modello di funzione casuale di tipo gaussiano presenta delle caratteristiche uniche per la sua estrema semplicità analitica e per rappresentare la distribuzione limite in molti teoremi globalmente noti come "teoremi del limite centrale".

In sintesi, se si può considerare un fenomeno spaziale continuo come generato dalla somma di un numero (non troppo grande) di sorgenti indipendenti con distribuzioni simili, allora può essere rappresentato da un modello multivariato di funzione casuale gaussiana:

$$Z(x) = \sum_{k=1}^{K} Y_k(x) \approx \text{Gaussiana}$$

Il fattore limitante in una tale rappresentazione non è tanto il numero *K* o il fatto che le componenti *Yk*(*x*) siano ugualmente distribuite, quanto l'ipotesi di indipendenza delle stesse. Se gli errori umani o di misura possono talvolta essere considerati indipendenti, raramente nelle scienze ambientali i diversi processi geologici/biologici, che hanno dato origine al fenomeno osservato, possono essere considerati indipendenti l'uno dall'altro e quindi additivi. Nonostante ciò, i modelli gaussiani sono stati estensivamente studiati e ben compresi ed applicati con successo in numerose circostanze. Queste considerazioni di natura euristica sono sufficienti a giustificare la scelta privilegiata di questi modelli per rappresenta-

re variabili continue, a meno che non si abbiano delle chiare prove della loro inadeguatezza.

La normalità univariata (dell'istogramma dei dati campionari) può essere facilmente verificata; nel caso sia confutata, i dati possono venir normalizzati mediante una trasformazione che consenta di passare dalla variabile originaria z alla gaussiana standardizzata y. È possibile ottenere ciò in tre modi differenti:

1) gli N valori campionari di *z* vengono ordinati in ordine crescente:

   $z_1 \leq z_2 \leq \ldots \leq z_n$

   La frequenza cumulata corrispondente al *k*-mo dato di *z* è $F_z(z_k) = \frac{k}{N}$ e quindi la trasformata normale di z_k è il quantile *k/N* della normale standardizzata, ovvero:

   $$y_k = G^{-1}\left(\frac{k}{N}\right)$$

   ove $G(y)$ è la funzione di probabilità cumulata della normale standardizzata. Secondo questo approccio due dati uguali della variabile originaria corrispondono a trasformate gaussiane differenti;

2) l'approccio empirico consiste nel calcolare per ogni valore della variabile originaria la frequenza empirica e quindi il valore gaussiano corrispondente. In questo caso due valori uguali di z hanno la stesso valore gaussiano (Figura 3-92) l'approccio empirico consiste nel calcolare per ogni valore della variabile originaria la frequenza empirica e quindi il valore gaussiano corrispondente. In questo caso due valori uguali di z hanno la stesso valore gaussiano (Figura 3-9););

3) l'anamorfosi gaussiana è una funzione matematica che trasforma una variabile Y con distribuzione gaussiana in una nuova variabile Z con qualsiasi tipo di distribuzione: $Z = \Phi(Y)$. Per motivi matematici, questa funzione è scritta sotto forma di uno sviluppo in serie di polinomi:

   $$\phi(Y) = \sum \psi_i H_i(Y)$$

   ove le $H_i(Y)$ sono i polinomi di Hermite. In pratica questo sviluppo in serie è troncato ad un ordine finito e la funzione Φ risulta monotona crescente all'interno di un determinato intervallo, mentre al suo esterno mostra dei massimi e dei minimi (Figura 3-10).

È necessario pertanto fissare gli estremi A e B di questo intervallo, in cui la funzione risulterà anche invertibile, e quelli Z_{min} e Z_{max} del campo di variabilità della variabile originaria. Il calcolo della funzione di anamorfosi Φ consisterà quindi nell'adattamento dei parametri ψ_i alla curva sperimentale, ottenuta riportando sull'asse orizzontale i valori della variabile normale standardizzata e su quelli dell'asse verticale i quantili corrispondenti della variabile originaria. Il modello così adattato si intenderà valido all'interno dell'intervallo di estremi A e B. L'eventuale estrapolazione ai valori minimo e massimo della variabile *Z* verrà effettuata mediante interpolazione lineare. Una volta ottenuta la funzione di anamorfosi è facile ricavare la trasformazione inversa che consente il passaggio dalla variabile gaussiana a quella originaria. L'inversione sarà possibile solo all'interno dell'intervallo [A, B], mentre l'estensione all'intervallo reale di variazione di *Z*, $[Z_{min}, Z_{max}]$, verrà effettuata tramite interpolazione lineare.

È da osservare che, sebbene i valori trasformati gaussiani possano essere calcolati senza necessariamente costruirsi il modello di anamorfosi, esso risulterà necessario in altri approcci, come la simulazione stocastica gaussiana, in cui si richiede una trasforma-

Figura 3-9 – Esempio di applicazione di trasformata gaussiana.

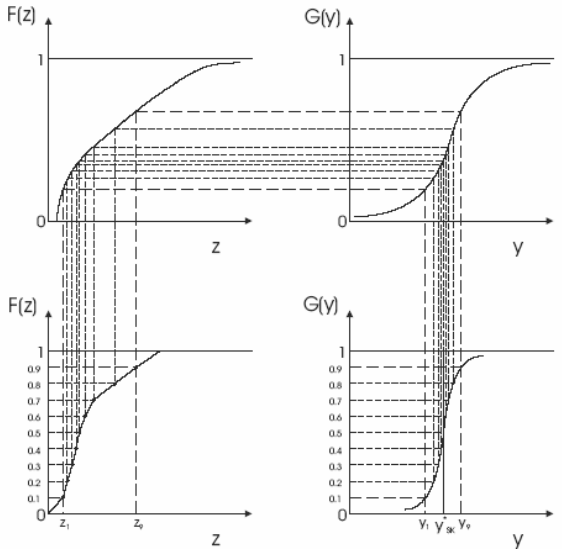


Figura 3-10 – Esempio di applicazione dell'anamorfosi gaussiana.

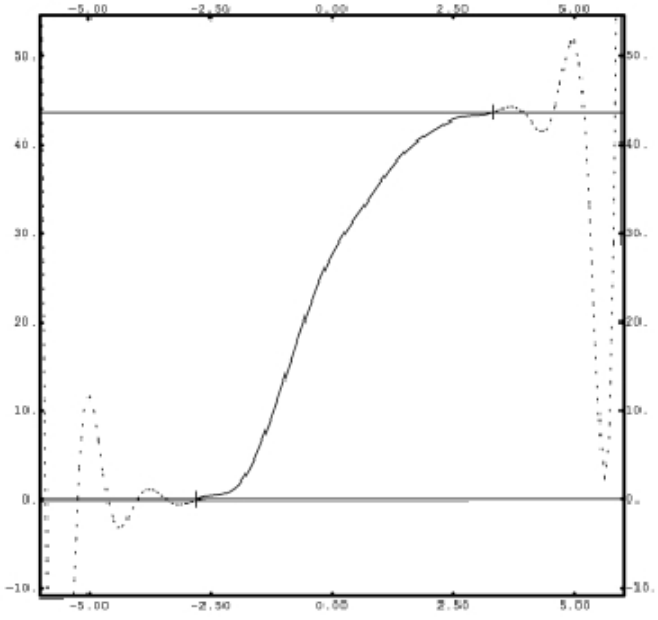
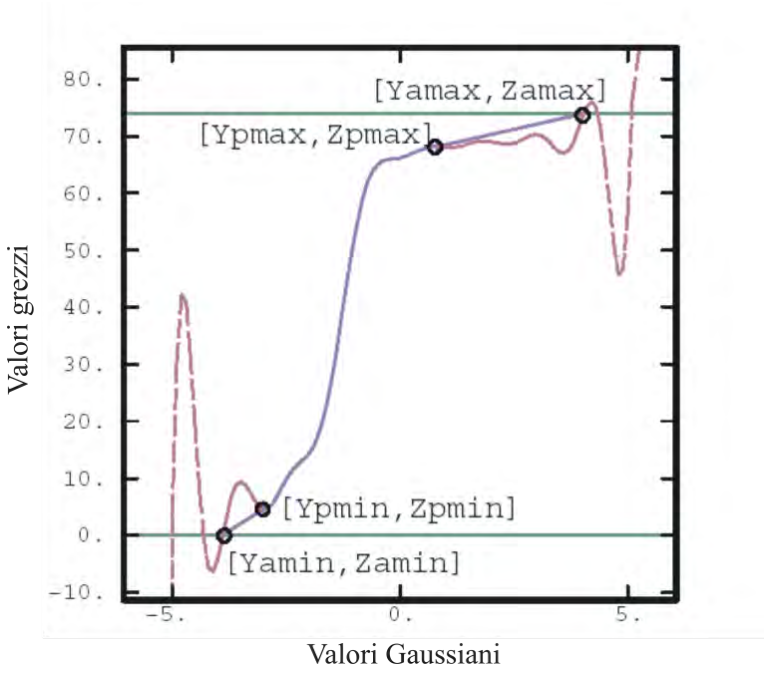


Figura 3-11 – Esempio d'estensione all'intervallo reale di variazione di Z, [Zmin, Zmax], (da Isatis, 2002).



zione inversa dei valori gaussiani simulati in quelli della variabile originaria.

La normalità univariata è in realtà una condizione necessaria ma non sufficiente ad assicurare la normalità bivariata e, a maggior ragione, quella multivariata di una funzione casuale. In realtà, la trasformazione univariata non produce alcun effetto sulle proprietà bivariate della funzione casuale[17].

Deutsch e Journel[18] propongono un modo per controllare la normalità della distribuzione bivariata, consistente nel confronto della forma del semivariogramma campionario della variabile indicatrice, calcolato per diversi valori soglia, con la sua espressione teorica nel caso di funzione normale bivariata. Se è possibile una verifica sia pure solamente grafica, per la distribuzione gaussiana bivariata, non esiste

17 Rivoirard, Jacques, 1994, Introduction to Disjunctive Kriging and Non-Linear Geostatistics : Clarendon Press, 182p.

18 Deutsch, C.V., and Andre G. Journel, 1998, GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide, 2nd Ed., Oxford University Press, New York, 369p.

alcun test per provare la multi-gaussianità, per cui in pratica l'adozione di un approccio di tipo gaussiano diventa una scelta soggettiva, dettata principalmente da motivazioni legate alla semplicità degli algoritmi.

4. Stato dell'arte sulle tecnologie

Alcuni prodotti GIS sono in grado di gestire le fasi relative all'analisi geostatistica e rappresentare i risultati in forma di mappe georeferenziate. Per i soli aspetti geostatistici esistono diverse altre soluzioni che sono al di fuori delle tecnologie GIS. Alcune di queste sono nate prevalentemente in ambito accademico. Una pietra miliare è il testo del 1980 di *Journel* e *Huijbrechts*[19] contenente i sorgenti di diversi algoritmi di tecniche geostatistiche. Una buona parte di quelle *routine* sono oggi presenti in GSLiB (*Geostatistical Software Library*) accanto ad altre sviluppate all'interno della *Stanford University* (http://www.gslib.com). Esse sono tutte fruibili liberamente attraverso il codice sorgente in linguaggio Fortran standard 77/90. La versione commerciale di questi algoritmi è *WinGSLib*. La libreria contiene diversi algoritmi quali a) *utilities* per il *declustering* dei dati, la trasformazione normale e normale bivariata dei dati, algoritmi per la costruzione di strutture spaziali (variogrammi semplici, incrociati e indicatori, madogrammi), b) tecniche di *kriging* (semplice, semplice con deriva esterna, ordinario, universale fino a nove monomi, indicatore, cokriging) c) tecniche di simulazione stocastica (gaussiana, sequenziale, indicatore, *boolean*, campo di probabilità, *annealing* ellissoide e simulato).

La società *Geovariances*[20], *spin off* della scuola francese "*Centre de Geostatistique*"[21] di *Fontainebleau*, ha sviluppato il sistema ISATIS[22] che consente la elaborazione di carte e le valutazioni di stime geostatistiche attraverso una pluralità di algoritmi. È un sistema geostatistico che contiene una parte di funzionalità *GIS*.

Specifici software *shareware* sono stati sviluppati dal mondo della ricerca nel corso degli ultimi anni. Pur nelle limitazioni di prodotti non supportati da un'assistenza essi hanno rappresentato ottimi strumenti di ausilio alle applicazioni geostatistiche. Fra questi i primi e più diffusi sono stati, in ordine temporale, *Geo-EAs*[23] e *Geopack*[24] in ambiente MS DOS e dai primi anni '90, *Variowin*[25] in ambiente Windows. Quest'ultimo è stato sviluppato nel linguaggio *Borland C++* e contiene quattro sezioni: *Prevar2D, Vario2D, Model and Grid Display*. La caratteristica più importante di *Prevar2D* è la capacità di gestire *dataset* di coordinate UTM con lo scopo di costruire la matrice delle distanze tra tutte le possibili coppie presenti nel *dataset* ".dat" memorizzandola in un file ".pcf". Il modulo *Vario2D* usa il file ".pcf" per costruire il variogramma sperimentale in *2D*. Lo stimatore che viene utilizzato è il *Kriging*

19 Journel A, Huijbrechts C, 1978, 'Mining Geostatistics', Academic Press, London,

20 http://www.geovariances.com/en

21 http://cg.ensmp.fr/

22 http://www.geovariances.com/en/isatis-ru324

23 Englund, E., and Sparks, A., 1988, *GEOEAS* (*Geostatistical* Environmental Assessment Software)

24 YATES, S.R. & YATES, M.V. (1990) – *Geostatistics* for Waste Management. A User's Manual for the. *GEOPAK* (Version 1.0): *Geostatistical* Software System.

25 *VARIOWIN* – Software for Spatial Data Analysis in 2D: Pannatier, Yvan (1996): Springer Verlag, 91p., ISBN: 0-387-94679-9

ordinario. È anche possibile disegnare i grafici del madogramma, correlogramma e covarianza e considerare le anisotropie geometriche e zonali durante la fase di modellizzazione.

Le tecnologie GIS non sempre offrono la possibilità di gestire le fasi dell'analisi geostatistica. Il prodotto più interessante e completo in tal senso è il modulo *Geostatistical Analyst*[26] che all'interno del prodotto *ArcGIS* permette di realizzare l'analisi strutturale e la *cross-validation*. Inoltre offre la possibilità di disegnare *QQ plot* e di utilizzare diverse tecniche del Kriging. L'analisi strutturale consente la divisione del *nugget* in una parte addebitabile agli errore di misura e in una che rappresenti l'effetto del sottocampionamento. Le statistiche di *cross-validation* comprendono le stime dell'errore di predizione medio, di quello standard medio e il quadrato medio standardizzato. Le tecniche di kriging utilizzabili sono *ordinary, universal, disjunctive, indicator, probability, coKriging*. È possibile realizzare trasformazioni di variabili da un certo tipo di distribuzione a quella normale e realizzare il *declustering* dei dati.

All'interno di questo quadro si ritrovano le tecnologie utilizzate dal gruppo di lavoro. In particolare ISATIS (IRSA – CNR), *ArcGIS* (Protezione Civile) e *Cross-Validation*. Quest'ultimo è uno strumento sviluppato all'interno dell'Ufficio Statistico per realizzare la validazione di un modello di variogramma. È reso pubblico con il codice sorgente all'interno del sito istituzionale (www.regione.puglia.it/ufficiostatistico). In Appendice A si fornisce la documentazione per il suo utilizzo.

26 http://www.esri.com/software/arcgis/extensions/geostatistical

5. Descrizione area di studio e della rete

La Puglia si estende nel Mediterraneo nord-orientale in direzione NW-SE e costituisce la parte più orientale della Penisola italiana. Essa presenta un'elevata discontinuità territoriale determinata dal notevole sviluppo della linea di costa, dal promontorio del Gargano sino al Capo di Santa Maria di Leuca lungo il mare Adriatico e nel mar Jonio sino al Golfo di Taranto, e da una morfologia superficiale fortemente articolata.

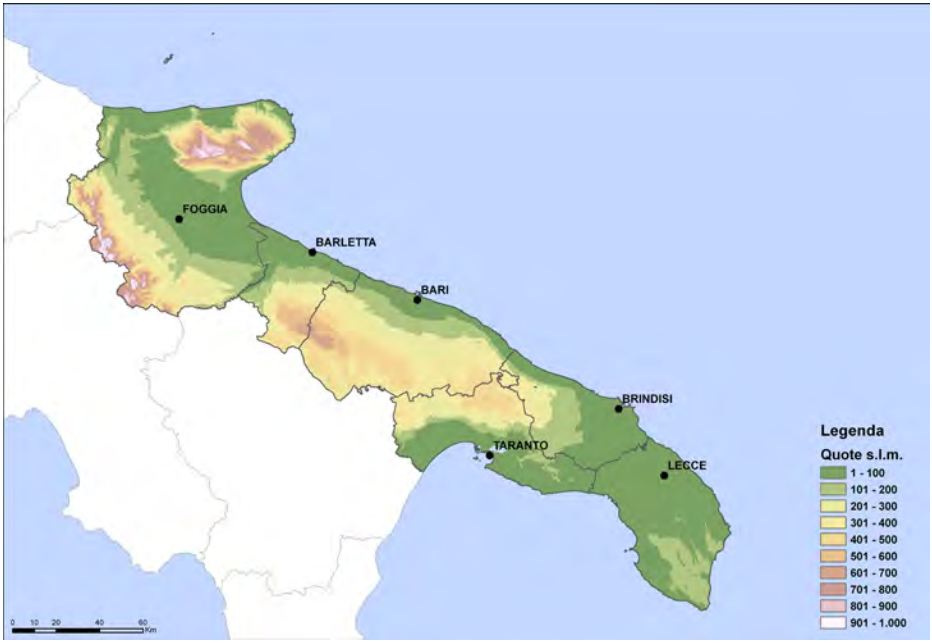
Il territorio regionale ha una superficie che si aggira intorno ai 19.350 kmq ed è in prevalenza pianeggiante, la zona di pianura rappresenta più della metà dell'intera superficie (53,2%), la restante parte è occupata da collina con il 45,3% e poco più dell'1% da montagna e si presenta, pertanto, topograficamente diversificato.

Il clima della Puglia è quello tipicamente mediterraneo, caratterizzato da inverni miti e da estati calde e siccitose.

L'uniformità orografica della regione (Fig. 5.1) produce, a parità di latitudine, delle modeste differenze climatiche tra le diverse zone, dovute, oltre che alle esigue variazioni altimetriche, anche alla conformazione topografica: i rilievi appenninici infatti riparano la regione dai venti che provengono da Occidente, mentre risulta esposta alle correnti da Sud e dall'Adriatico.

Il mese più caldo è luglio, mentre agosto è il mese in cui si registrano i valori estremi di temperatura più alti. La provincia più calda è quella di Foggia, soprattutto nelle aree prossime agli abitati di Cerignola e San Severo.

Figura 5.1 – Orografia del territorio pugliese



Anche nel Salento si riscontrano temperature elevate, che risentono essenzialmente dell'influenza della latitudine e della vicinanza del mare. Le temperature hanno un massimo estivo e un minimo invernale con escursioni diurne abbastanza limitate.

Nel trentennio analizzato, le temperature medie mensili massime variano da un valore di 29,3°C, registrato nella stazione di Bosco Umbra (Vico del Gargano), nell'Agosto del 1994, ad un valore di 37°C nella stazione di Foggia Ist.Agrario, anch'esso registrato nell'Agosto del 1994.

Nella tabella 5.1 sono state riportate le stazioni con i parametri della temperatura media mensile massima, con i valori più alti di tutto il trentennio e i relativi mesi in cui sono stati registrati. In appendice, invece, sono riportati tutti i valori medi estremi di tutte le stazioni. In 34 stazioni il mese/anno in cui sono stati registrati i valori più alti è l'Agosto del 2003.

Tabella 5.1

Nome Stazione	Comune	Temperatura Media mensile Massima °C		
		Agosto 1994	Agosto 2000	Agosto 2003
Canosa di Puglia	Canosa di Puglia (BT)	36,2	-	-
Cerignola	Cerignola (FG)	-	-	34,7
Foggia	Foggia (FG)	37	-	35,3
Grumo Appula	Grumo Appula (BA)	35	-	-
Latiano	Latiano (BR)	34,5	-	-
Lecce	Lecce (LE)	-	-	34,2
Lizzano	Lizzano (TA)	-	-	35,7
Maglie	Maglie (LE)	-	-	34
Manfredonia	Manfredonia (FG)	-	34,7	-
Massafra	Massafra (TA)	-	-	34,7
Masseria Santa Chiara	Trinitapoli (BT)	34,3	-	-
Nardò	Nardò (LE)	-	-	34,7
Ortanova	Ortanova (FG)	-	-	35,3
Pietramontecorvino	Pietramontecorvino (FG)	34	-	-
Presicce	Presicce (LE)	-	34,3	-
San Giorgio Jonico	San Giorgio Jonico (TA)	-	-	34,7
Spinazzola	Spinazzola (BT)	-	34,6	-
Taranto	Taranto (TA)	-	34,6	34,6

Durante il periodo invernale, le temperature scendono per più giorni sotto lo zero, in particolare nelle Province di Foggia e Bari. Nelle aree collinari interne al territorio pugliese, sono frequenti valori negativi (si raggiungono anche i -9 °C).

Nella Tabella 5.2 sono riportati i valori estremi delle temperature medie mensili minime relative agli anni più rappresentativi di alcune stazioni. I dati di tutte le stazioni sono reperibili nella tabella in Appendice B.

Tabella 5.2

Nome Stazione	Comune	Temperatura Media mensile Minima °C			
		Feb 1981	Marzo 1987	Feb 1993	Feb 2003
Altamura	Altamura (BA)	-0,2	-	-	-
Ascoli Satriano	Ascoli Satriano (FG)	0,4	-	-	-
Biccari	Biccari (FG)	0,7	-	-	-
Bosco Umbra	Monte Sant'Angelo (FG)	-	-2,1	-	-
Cassano delle Murge	Cassano delle Murge (BA)	0,6	-		-1

Castel del Monte	Andria (BT)	-	-	-1,2	-
Faeto	Faeto (FG)	-1,7	-	-	-
Ginosa Marina	Ginosa (TA)	0,4	-	-	-
Locorotondo	Locorotondo (BA)	-	-	0,3	-
Masseria Santa Chiara	Trinitapoli (BT)	-	-	-	0,1
Minervino Murge	Minervino Murge (BT)	-	-	-	0
Monte Sant'Angelo	Monte Sant'Angelo (FG)	-	-3,2	-	-
Pietramontecorvino	Pietramontecorvino (FG)	0	-	-	-
San Giovanni Rotondo	San Giovanni Rotondo (FG)	-	-	-	0,1
San Samuele di Cafiero	S.Ferdinando di Puglia (BT)	-	-	0,2	-
Spinazzola	Spinazzola (BT)	0,2	-	-	-
Troia	Troia (FG)	-	-	-	0,9

Dall'analisi delle precipitazioni svolta nel trentennio 1976-2005, si evidenzia che nel territorio pugliese si sono verificati scarsi apporti meteorici. La media della precipitazione annua del trentennio 1976-2005 risulta essere pari a 638 mm.

Nelle zone più interne della regione si riscontra una notevole diversità nelle quantità di pioggia: si passa da valori prossimi a 1.000 mm annui registrati nella stazione di Bosco Umbra a valori inferiori a 500 mm nelle stazioni del Tavoliere.

Gli abitati a più alta piovosità sono situati sull'area garganica, sul Subappennino Dauno e nella parte estrema della penisola salentina. In quest'ultima area, la precipitazione abbondante, è dovuta all'afflusso dei venti umidi occidentali che non vengono ostacolati dagli Appennini, come avviene nel resto della Regione.

Nell'analisi sul trentennio 1976/2005, si rileva che il mese meno piovoso è luglio, mentre, il mese più piovoso risulta novembre (solo in alcune stazioni il mese più piovoso è dicembre).

Nel mese meno piovoso sono stati registrati valori che vanno da un minimo di 9 mm (stazione di Taviano) ad un massimo di 50,6 mm (stazione di Bosco Umbra).

Le stazioni pluviometriche che registrano valori superiori ai 100 mm di precipitazione media mensile sono nelle province di Foggia (Monte Sant'Angelo, Orsara di Puglia, Orto di Zolfo-Biccari, Pietramontecorvino, San Marco in Lamis, Sannicandro Garganico e Vico del Gargano), Lecce (Nardò, Novoli, Otranto, Presicce, Ruffano, Santa Maria di Leuca, Taviano e Vignacastrisi-Ortelle) e Brindisi (Ostuni e San Vito dei Normanni).

Nella tabella 5.3 sono riportate le stazioni che hanno registrato valori mensili di precipitazione superiori a 300 mm nel trentennio di riferimento.

Tabella 5.3

Nome Stazione	Comune	massima precipitazione mensile	
		mm	mese e anno
Alberona	Alberona (FG)	371	Aprile 1978
Bosco Umbra	Monte Sant'Angelo (FG)	526	Dicembre 2002
Collepasso	Collepasso (LE)	300,8	Novembre 1998
Crispiano	Crispiano (TA)	313,6	Gennaio 1996
Galatina	Galatina (LE)	341	Novembre 1993
Gallipoli	Gallipoli (LE)	313	Novembre 1993
Ginosa	Ginosa (TA)	314	Dicembre 1984
Lecce	Lecce (LE)	326	Ottobre 1996
Maglie	Maglie (LE)	315	Novembre 1976
Massafra	Massafra (TA)	310,6	Gennaio 1996
Orsara di Puglia	Orsara di Puglia (FG)	322,6	Gennaio 2003
Otranto	Otranto (LE)	409,6	Dicembre 2002
Presicce	Presicce (LE)	307	Novembre 1990
Ruffano	Ruffano (LE)	309	Novembre 1976
San Giorgio Jonico	San Giorgio Jonico (TA)	302	Novembre 1976
San Marco in Lamis	San Marco in Lamis (FG)	443	Settembre 1982
Santa Maria di Leuca	Castrignano del Capo (LE)	373	Novembre 1993
Taviano	Taviano (LE)	452	Novembre 1993
Vico del Gargano	Vico del Gargano (FG)	563	Dicembre 2002
Vignacastrisi	Ortelle (LE)	347	Novembre 1993
Vieste	Vieste (FG)	327,8	Dicembre 2002

Le seguenti tabelle riportano i valori e l'anno di riferimento delle stazioni in cui si sono registrati i valori di precipitazione più bassi (tab. 5.4) e quelli più elevati (tab. 5.5). In Appendice B sono riportati i valori relativi a tutte le stazioni.

Tabella 5.4

Stazione	Comune	minima precipitazione annua	
		mm	anno
Canosa di Puglia	Canosa di Puglia (BT)	249	1977
Foggia Osservatorio	Foggia (FG)	233	1977
Fonte Rosa	Manfredonia (FG)	232	2000
Giovinazzo	Giovinazzo (BA)	234	1992
Manfredonia	Manfredonia (FG)	200	1977

Masseria Santa Chiara	Trinitapoli (BT)	229	1977
Nardò	Nardò (LE)	225	1989
Santa Maria di Leuca	Castrignano del Capo (LE)	245	1977
Talsano	Talsano (TA)	244	1989

Tabella 5.5

Stazione	Comune	massima precipitazione annua	
		mm	anno
Alberona	Alberona (FG)	1171	1976
Ascoli Satriano	Ascoli Satriano (FG)	1054	1976
Biccari	Biccari (FG)	1049	1976
Bosco Umbra	Monte Sant'Angelo (FG)	1582	1976
Bovino	Bovino (FG)	1125	1976
Cagnano Varano	Cagnano Varano (FG)	1022	1976
Collepasso	Collepasso (LE)	1095	1996
Copertino	Copertino (LE)	1158	1996
Crispiano	Crispiano (TA)	1020	1976
Faeto	Faeto (FG)	1004	1996
Galatina	Galatina (LE)	1299	1996
Lecce	Lecce (LE)	1364	1996
Locorotondo	Locorotondo (BA)	1247	1976
Maglie	Maglie (LE)	1193	1996
Manduria	Manduria (TA)	1010	1996
Massafra	Massafra (TA)	1097	1976
Masseria Chiancarello	Mottola (TA)	1130	1976
Masseria Monteruga	Nardò (LE)	1083	1996
Melendugno	Melendugno (LE)	1064	2002
Minervino di Lecce	Minervino di Lecce (LE)	1174,4	1996
Monte Sant'Angelo	Monte Sant'Angelo (FG)	1053	1984
Monteleone di Puglia	Monteleone di Puglia (FG)	1089,4	2004
Novoli	Novoli (LE)	1105,2	1996
Orsara di Puglia	Orsara di Puglia (FG)	1324	1976
Orto di Zolfo	Biccari (FG)	1246	1976
Ostuni	Ostuni (BR)	1104	1996
Otranto	Otranto (LE)	1141	1996
Pietramontecorvino	Pietramontecorvino (FG)	1115,2	1996
Presicce	Presicce (LE)	1251	1996

Rocchetta Sant'Antonio	Rocchetta Sant'Antonio (FG)	1038	1976
Ruffano	Ruffano (LE)	1177	1976
San Giorgio Jonico	San Giorgio Jonico (TA)	1083	1976
San Giovanni Rotondo	San Giovanni Rotondo (FG)	1043	1976
San Marco in Lamis	San Marco in Lamis (FG)	1263	1980
San Pancrazio Salentino	San Pancrazio Salentino (LE)	1072	1996
Sannicandro Garganico	Sannicandro Garganico (FG)	1133	2004
Santa Maria di Leuca	Castrignano del Capo (LE)	1051	1976
Vico del Gargano	Vico del Gargano (FG)	1349	2002
Vignacastrisi	Ortelle (LE)	1255,8	1996
Volturino	Volturino (FG)	1021,2	2004

Da questa tabella si evince che le province più piovose sono Lecce (1996) e Foggia (1976).

Le precipitazioni nevose non sono rare e possono interessare anche le zone in pianura ed hanno una durata limitata. I venti sono in genere moderati; predominano la tramontana e lo scirocco.

5.1 Le stazioni per il rilevamento delle temperature

La temperatura dell'aria è, con la precipitazione, la grandezza di più agevole misurazione ai fini della caratterizzazione climatica di una regione. I fattori che influenzano maggiormente la distribuzione della temperatura sono la latitudine, la distanza dal mare, l'esposizione e l'orografia del terreno. Tutti elementi che sono stati analizzati per definire quantitativamente gli aspetti di variabilità spaziale delle temperature medie mensili.

Sono stati utilizzati 81 punti di osservazione termometrica per usufruire di una completa e uniforme distribuzione spaziale e temporale.

Nel caso in studio, la variabile di interesse è la media dei valori mensili minimi e massimi di temperatura; tale media è stata effettuata per ciascuna stazione della rete di monitoraggio su un intervallo temporale che va dal 1976 al 2005.

Nella tabella 5.6 sono riportate le stazioni termometriche della rete di monitoraggio del Servizio Protezione Civile. Le informazioni fornite per ciascuna stazione sono: denominazione, comune e regione di appartenenza, coordinate geografiche (UTM, datum wgs84), metri sul livello del mare in cui è stata installata la stazione, distanza dal mare ed esposizione.

I dati relativi alla distanza dal mare e all'esposizione sono stati calcolati successivamente attraverso l'uso di appropriati strumenti disponibili nel software GIS ARCMap. Il DEM (Digital elevation Model) utilizzato per calcolare l'esposizione ha una cella quadrata di 25m in entrambi i lati.

Tabella 5.6

NOME STAZIONE	COMUNE	REGIONE	COORDINATE		M S.L.M.	DISTANZA DAL MARE (m)	ESPOSIZIONE
			UTMX	UTMY			
Altamura	Altamura (BA)	Puglia	630998,10	4520285,10	482,00	41278,11	Ovest
Andretta	Andretta (AV)	Campania	528004,50	4530852,30	890,00	79179,40	Nord
Andria	Andria (BT)	Puglia	608484,70	4564039,90	162,00	10845,58	Est
Ascoli Satriano	Ascoli Satriano (FG)	Puglia	547336,80	4561247,30	437,00	43918,98	Nord
Avetrana	Avetrana (TA)	Puglia	731696,70	4469465,70	72,00	4568,18	Ovest
Bari Idrografico	Bari (BA)	Puglia	657996,20	4553765,00	17,00	389,69	Nord
Bari Ingegneria	Bari (BA)	Puglia	657685,30	4552277,20	23,00	1891,69	Nord-Est
Bari Ossevatorio	Bari (BA)	Puglia	657148,70	4553462,80	34,00	1014,53	Nord
Barletta	Barletta (BT)	Puglia	606700,80	4574331,40	30,00	1402,82	Sud-Est
Biccari	Biccari (FG)	Puglia	515884,40	4582293,50	470,00	58702,24	Est
Bosco Umbra	Monte Sant'Angelo (FG)	Puglia	582616,40	4629940,40	798,00	13246,64	Est
Brindisi	Brindisi (BR)	Puglia	748442,40	4501765,20	19,00	1209,39	Nord
Cagnano Varano	Cagnano Varano (FG)	Puglia	563907,10	4630768,90	181,00	10305,98	Sud
Canosa di Puglia	Canosa di Puglia (BT)	Puglia	589011,60	4564170,40	154,00	18605,26	Sud
Casamassima	Casamassima (BA)	Puglia	661419,20	4535422,80	229,00	16330,25	Sud-Ovest
Cassano delle Murge	Cassano delle Murge (BA)	Puglia	649192,70	4527821,70	351,00	27746,10	Sud
Castel del Monte	Andria (BT)	Puglia	607008,90	4548253,30	543,00	25276,82	Sud
Castellana Grotte	Castellana Grotte (BA)	Puglia	682446,30	4527857,60	29,00	13376,88	Nord
Castellaneta	Castellaneta (TA)	Puglia	663424,30	4499356,20	236,00	15467,28	Sud
Cerignola	Cerignola (FG)	Puglia	575810,80	4568397,30	134,00	20796,28	Est
Corato	Corato (BA)	Puglia	618589,10	4556680,30	249,00	12504,34	Nord
Crispiano	Crispiano (TA)	Puglia	689177,20	4496646,80	264,00	11831,80	Nord-Ovest
Diga Rendina	Lavello (PZ)	Puglia	566759,50	4544586,10	214,00	46192,31	Nord
Faeto	Faeto (FG)	Puglia	513658,10	4574523,60	776,00	66315,76	Sud
Fasano	Fasano (BR)	Puglia	698832,40	4523454,70	121,00	6025,89	Nord
Foggia Agraria	Foggia (FG)	Puglia	542989,60	4589191,00	84,00	33788,60	Nord
Foggia Osservatorio	Foggia (FG)	Puglia	545323,20	4590048,30	82,00	31307,89	Sud-Ovest
Forenza	Forenza (PZ)	Basilicata	571483,10	4523409,60	753,00	62809,48	Nord
Gallipoli	Gallipoli (LE)	Puglia	755424,50	4438104,30	31,00	97,38	Nord
Ginosa Marina	Ginosa (TA)	Puglia	659854,30	4476812,70	20,00	505,59	Nord-Est
Gioia del Colle	Gioia del Colle (BA)	Puglia	662224,20	4518390,80	377,00	32193,94	Nord-Ovest
Grottaglie	Grottaglie (TA)	Puglia	706755,70	4490485,10	140,00	18408,59	Sud-Ovest
Grumo Appula	Grumo Appula (BA)	Puglia	643821,60	4541464,80	191,00	16729,14	Nord
Lacedonia	Lacedonia (AV)	Campania	535783,20	4544766,20	717,00	63692,80	Nord
Lagopesole	Avigliano (PZ)	Basilicata	562069,20	4517153,30	782,00	72759,19	Nord
Latiano	Latiano (BR)	Puglia	729461,30	4492174,40	107,00	19304,75	Nord
Lavello	Lavello (PZ)	Basilicata	566759,50	4544586,10	328,00	46192,31	Nord
Lecce	Lecce (LE)	Puglia	768980,70	4472343,10	50,00	10884,06	Nord
Lesina	Lesina (FG)	Puglia	529318,20	4634539,70	13,00	4763,16	Ovest
Lizzano	Lizzano (TA)	Puglia	707847,60	4473631,00	63,00	6131,47	Sud

NOME STAZIONE	COMUNE	REGIONE	COORDINATE		M S.L.M.	DISTANZA DAL MARE (m)	ESPOSIZIONE
			UTMX	UTMY			
Locorotondo	Locorotondo (BA)	Puglia	697389,70	4514012,50	404,00	14422,55	Nord-Est
Lucera	Lucera (FG)	Puglia	528011,50	4595502,10	226,00	43676,22	Est
Maglie	Maglie (LE)	Puglia	780678,20	4446165,20	102,00	15965,70	Est
Manduria	Manduria (TA)	Puglia	723637,70	4475261,60	81,00	10273,53	Est
Manfredonia	Manfredonia (FG)	Puglia	573371,00	4603865,60	2,00	1130,38	Nord-Ovest
Massafra	Massafra (TA)	Puglia	678460,10	4493776,50	110,00	5970,15	Nord
Masseria Monteruga	Nardò (LE)	Puglia	741269,80	4470730,60	67,00	7081,09	Est
Masseria Santa Chiara	Trinitapoli (BT)	Puglia	594920,60	4576721,50	9,00	4739,83	Nord
Melfi	Melfi (PZ)	Basilicata	552758,90	4537739,30	533,00	58803,54	Nord
Mercadante	Cassano delle Murge (BA)	Puglia	643260,50	4527900,70	393,00	29512,37	Ovest
Minervino di Lecce	Minervino di Lecce (LE)	Puglia	791536,80	4443493,50	104,00	5581,33	Nord
Minervino Murge	Minervino Murge (BT)	Puglia	591064,40	4547652,00	454,00	32031,29	Est
Monte Sant'Angelo	Monte Sant'Angelo (FG)	Puglia	580020,10	4617529,60	817,00	5161,68	Sud
Monteleone di Puglia	Monteleone di Puglia (FG)	Puglia	521705,70	4556971,70	844,00	66852,41	Ovest
Monticchio	Rionero in Vulture (PZ)	Basilicata	551075,20	4531871,00	747,00	64710,73	Nord
Nardò	Nardò (LE)	Puglia	758334,20	4451346,70	52,00	5187,17	Ovest
Nusco	Nusco (AV)	Campania	507044,60	4526282,00	841,00	97257,26	Nord
Ortanova	Ortanova (FG)	Puglia	559151,70	4575168,90	80,00	25844,74	Nord
Ostuni	Ostuni (BR)	Puglia	717709,90	4511508,10	234,00	7220,54	Est
Otranto	Otranto (LE)	Puglia	797186,80	4449554,40	29,00	541,07	Nord
Pescopagano	Pescopagano (PZ)	Basilicata	533635,50	4520317,40	920,00	83940,76	Nord
Pietramontecorvino	Pietramontecorvino (FG)	Puglia	510754,60	4599088,40	464,00	42316,10	Sud
Polignano a mare	Polignano a mare (BA)	Puglia	686649,70	4540146,30	50,00	759,77	Nord
Presicce	Presicce (LE)	Puglia	779316,60	4421387,70	105,00	6527,72	Sud
Ruvo di Puglia	Ruvo di Puglia (BA)	Puglia	624555,70	4552433,30	276,00	13563,38	Sud
San Giorgio Jonico	San Giorgio Jonico (TA)	Puglia	701991,30	4481296,30	86,00	10938,77	Est
San Giovanni Rotondo	San Giovanni Rotondo (FG)	Puglia	558967,00	4617451,40	572,00	18871,16	Sud
San Pietro Vernotico	San Pietro Vernotico (BR)	Puglia	754417,70	4485432,40	49,00	8540,88	Nord
San Samuele di Cafiero	San Ferdinando di Puglia (BT)	Puglia	588721,80	4569166,40	46,00	14396,39	Sud-Est
San Severo	San Severo (FG)	Puglia	531940,80	4615740,80	97,00	23274,36	Nord
Sannicandro Garganico	Sannicandro Garganico (FG)	Puglia	546701,70	4631844,50	236,00	8910,87	Sud
Santa Maria di Leuca	Castrignano del Capo (LE)	Puglia	787239,00	4410792,40	26,00	130,35	Sud
Sant'Angelo dei Lombardi	Sant'Angelo dei Lombardi (AV)	Campania	514222,70	4529592,00	875,00	89721,92	Nord
Spinazzola	Spinazzola (BT)	Puglia	592315,00	4535068,40	458,00	43157,11	Ovest
Talsano	Talsano (TA)	Puglia	692844,10	4475769,40	37,00	1895,42	Sud
Taranto	Taranto (TA)	Puglia	690795,70	4481728,00	27,00	226,54	Ovest
Taviano	Taviano (LE)	Puglia	763750,50	4430306,00	72,00	5589,11	Nord
Troia	Troia (FG)	Puglia	525894,30	4578930,20	448,00	53315,06	Nord
Turi	Turi (BA)	Puglia	670292,90	4531902,20	260,00	16468,29	Nord
Vieste	Vieste (FG)	Puglia	597511,90	4637115,50	53,00	230,67	Sud
Vignacastrisi	Ortelle (LE)	Puglia	790953,50	4434640,50	99,00	1704,54	Nord

I primi sensori termometrici, installati intorno agli anni '30, erano costituiti da termometri (massima e minima) e da termografi allocati all'interno di capannine meteorologiche. Successivamente (1980), per sperimentazione, sono stati implementati i sensori elettronici ("*PT100*"). Dal 2003 il sensore utilizzato è stato esclusivamente quello elettronico PT100.

Di seguito sono elencate tutte le caratteristiche delle grandezze misurate, analizzate, e le relative caratteristiche tecniche dei sensori utilizzati per la misurazione:

- **Tipo:** variabile meteorologica;
- **Unità di misura**: °C;
- **Numero di stazioni**: 81;
- **Risoluzione temporale della misura**: oraria;
- **Risoluzione spaziale della misura**: puntuale;
- **Risoluzione temporale del dato analizzato**: mensile;
- **Periodo della serie temporale**: Da 01/01/1976 al 31/12/2005;
- **Data Media**: Foglio Excel;
- **Data Provider**: Servizio Protezione Civile – Struttura di Monitoraggio Meteoclimatico;
- **Tipo di variabile**: si tratta di una variabile continua che varia sia nel tempo sia nello spazio;

Informazioni relative allo strumento ed alla sua sensibilità e precisione:

- **Tipo di strumento**: Termometro a massima e minima, termografo e sensore elettronico;
- **Estensione scala (campo di misura)**: da -35°C a +45°C (termografo), da -30°C a +60°C (sensore elettronico);
- **Precisione strumentale**: ±1°C (termografo)/; ±0,3°C (sensore elettronico);

Figura 5.2 – termometro massima e minima

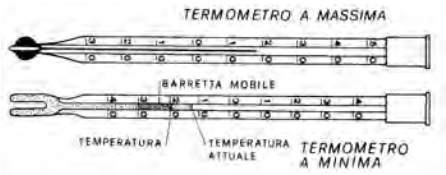


Figura 5.3 – termografo massima e minima

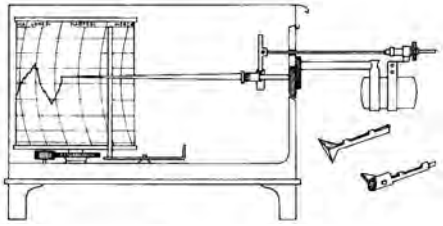


Figura 5.4 – termografo

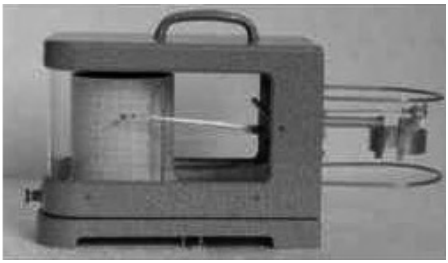


Figura 5.5 – Sensore elettrico "PT100"

5.2 Le stazioni per il rilevamento delle precipitazioni

Lo studio e l'analisi del fenomeno della precipitazione ha assunto un interesse strategico, da un lato, per la criticità della risorsa idrica in numerosi ambiti produttivi e, dall'altro, in vista dell'ampia normativa tesa alla attenta gestione e salvaguardia della risorsa.

Nel caso in studio, si sono utilizzati, anche per questo parametro i dati provenienti dalla rete di monitoraggio gestita dal Servizio Protezione Civile della Regione Puglia. Tale rete può contare su 125 punti di osservazione e misura delle altezze pluviometriche posti perlopiù all'interno dei confini regionali con alcune eccezioni riferite a punti ricadenti all'interno bacino dell'Ofanto (in parte esterno alla Puglia) corpo idrico sotto la giurisdizione dell'Autorità di Bacino della Regione Puglia.

Nel caso in studio, la variabile di interesse è la media dei totali mensili della precipitazione; tale media è stata effettuata per ciascuna stazione della rete di monitoraggio sullo stesso intervallo temporale analizzato per le temperature (1976 al 2005).

Di seguito (tab. 5.7) è riportato l'elenco delle stazioni analizzate. In entrambe le serie storiche, dei valori di temperatura e precipitazioni, i dati mancanti relativi ad un qualsiasi mese, sono stati integrati utilizzando la media dei dati relativi allo stesso mese degli anni precedenti.

Come per i sensori che misurano la temperatura, anche nella misurazione della precipitazione i sensori non sono stati sempre gli stessi. Fino al 2002 i pluviografi erano meccanici, e registravano i dati relativi alle precipitazioni, direttamente su rulli cartacei. Dal 2003 la registrazione avviene esclusivamente con acquisizione elettronica.

Di seguito sono elencate le caratteristiche dei dati analizzati e altre relative al pluviometro:

- **Tipo:** variabile meteorologica;
- **Unità di misura**: mm;
- **Numero di stazioni**: 125;
- **Risoluzione temporale della misura**: registrazione continua;
- **Risoluzione spaziale della misura**: praticamente puntuale (1/10 m^2 - 400 cm^2);
- **Risoluzione temporale del dato analizzato**: mensile;
- **Periodo della serie temporale**: Da 01/01/1976 al 31/12/2005;
- **Data Media**: Foglio Excel;
- **Data Provider**: Servizio Protezione Civile – Struttura di Monitoraggio Meteoclimatico;
- **Tipo di variabile**: si tratta di una variabile continua che varia sia nel tempo sia nello spazio;

Informazioni relative allo strumento ed alla sua sensibilità e precisione:

- **Tipo di strumento:** Pluviografo elettronico;
- **Precisione strumentale:** ± 0,2 %;
- **Sensibilità:** 0,2 mm;

Tabella 5.7

NOME STAZIONE	COMUNE	REGIONE	COORDINATE		M S.L.M.	DISTANZA DAL MARE (m)	ESPOSIZIONE
			UTMX	UTMY			
Adelfia	Adelfia (BA)	Puglia	656988,60	4540466,90	153,00	13325,77	Nord
Alberona	Alberona (FG)	Puglia	510306,90	4586603,80	744,00	54772,18	Est
Altamura	Altamura (BA)	Puglia	630998,10	4520285,10	482,00	41278,11	Ovest
Andretta	Andretta (AV)	Campania	528004,50	4530852,30	890,00	79179,40	Nord
Andria	Andria (BT)	Puglia	608484,70	4564039,90	162,00	10845,58	Est
Ascoli Satriano	Ascoli Satriano (FG)	Puglia	547336,80	4561247,30	437,00	43918,98	Nord
Atella	Atella (PZ)	Basilicata	554970,20	4524827,90	495,00	69089,23	Nord
Avetrana	Avetrana (TA)	Puglia	731696,70	4469465,70	72,00	4568,18	Ovest
Bari Idrografico	Bari (BA)	Puglia	657996,20	4553765,00	17,00	389,69	Nord
Bari Ingegneria	Bari (BA)	Puglia	657685,30	4552277,20	23,00	1891,69	Nord-Est
Bari Ossevatorio	Bari (BA)	Puglia	657148,70	4553462,80	34,00	1014,53	Nord
Barletta	Barletta (BT)	Puglia	606700,80	4574331,40	30,00	1402,82	Sud-Est
Biccari	Biccari (FG)	Puglia	515884,40	4582293,50	470,00	58702,24	Est
Bisaccia	Bisaccia (AV)	Campania	531916,60	4539604,60	900,00	70089,74	Nord
Bisceglie	Bisceglie (BT)	Puglia	625427,90	4566277,40	32,00	1060,24	Nord
Bitonto	Bitonto (BA)	Puglia	642247,00	4552256,60	126,00	7414,40	Sud-Est
Borgo Libertà	Cerignola (FG)	Puglia	560009,40	4559975,00	252,00	36385,96	Sud
Bosco Umbra	Monte Sant'Angelo (FG)	Puglia	582616,40	4629940,40	798,00	13246,64	Est
Bovino	Bovino (FG)	Puglia	528279,60	4566008,30	620,00	56499,55	Sud
Brindisi	Brindisi (BR)	Puglia	748442,40	4501765,20	19,00	1209,39	Nord
Cagnano Varano	Cagnano Varano (FG)	Puglia	563907,10	4630768,90	181,00	10305,98	Sud
Calitri	Calitri (AV)	Campania	534302,10	4531051,90	706,00	74987,61	Nord
Canosa di Puglia	Canosa di Puglia (BT)	Puglia	589011,60	4564170,40	154,00	18605,26	Sud
Casamassima	Casamassima (BA)	Puglia	661419,20	4535422,80	229,00	16330,25	Sud-Ovest
Cassano delle murge	Cassano delle murge (BA)	Puglia	649192,70	4527821,70	351,00	27746,10	Sud
Castel del Monte	Andria (BT)	Puglia	607008,90	4548253,30	543,00	25276,82	Sud
Castellana Grotte	Castellana Grotte (BA)	Puglia	682446,30	4527857,60	29,00	13376,88	Nord
Castellaneta	Castellaneta (TA)	Puglia	663424,30	4499356,20	236,00	15467,28	Sud
Castelluccio dei Sauri	Castelluccio dei Sauri (FG)	Puglia	539866,10	4572465,00	284,00	43236,70	Sud
Ceglie Messapica	Ceglie Messapica (BR)	Puglia	712926,70	4502424,30	286,00	17287,15	Est
Cerignola	Cerignola (FG)	Puglia	575810,80	4568397,30	134,00	20796,28	Est
Collepasso	Collepasso (LE)	Puglia	770124,50	4440621,10	132,00	13294,04	Nord
Conversano	Conversano (BA)	Puglia	677901,20	4536821,70	212,00	8603,59	Nord
Copertino	Copertino (LE)	Puglia	759480,10	4462016,70	48,00	11692,49	Nord
Corato	Corato (BA)	Puglia	618589,10	4556680,30	249,00	12504,34	Nord

NOME STAZIONE	COMUNE	REGIONE	COORDINATE		M S.L.M.	DISTANZA DAL MARE (m)	ESPOSIZIONE
			UTMX	UTMY			
Crispiano	Crispiano (TA)	Puglia	689177,20	4496646,80	264,00	11831,80	Nord-Ovest
Diga Rendina	Lavello (PZ)	Basilicata	566759,50	4544586,10	214,00	46192,31	Nord
Faeto	Faeto (FG)	Puglia	513658,10	4574523,60	776,00	66315,76	Sud
Fasano	Fasano (BR)	Puglia	698832,40	4523454,70	121,00	6025,89	Nord
Foggia Agraria	Foggia (FG)	Puglia	542989,60	4589191,00	84,00	33788,60	Nord
Foggia Osservatorio	Foggia (FG)	Puglia	545323,20	4590048,30	82,00	31307,89	Sud-Ovest
Fonte Rosa	Manfredonia (FG)	Puglia	564690,70	4587256,80	25,00	14347,20	Nord-Est
Forenza	Forenza (PZ)	Basilicata	571483,10	4523409,60	753,00	62809,48	Nord
Galatina	Galatina (LE)	Puglia	770061,70	4451673,70	84,00	15304,39	Est
Gallipoli	Gallipoli (LE)	Puglia	755424,50	4438104,30	31,00	97,38	Nord
Ginosa Marina	Ginosa (TA)	Puglia	659854,30	4476812,70	20,00	505,59	Nord-Est
Ginosa	Ginosa (TA)	Puglia	648752,40	4493260,80	272,00	19615,64	Sud
Gioia del Colle	Gioia del Colle (BA)	Puglia	662224,20	4518390,80	377,00	32193,94	Nord-Ovest
Giovinazzo	Giovinazzo (BA)	Puglia	640150,50	4560690,70	25,00	566,62	Nord-Est
Grottaglie	Grottaglie (TA)	Puglia	706755,70	4490485,10	140,00	18408,59	Sud-Ovest
Grumo Appula	Grumo Appula (BA)	Puglia	643821,60	4541464,80	191,00	16729,14	Nord
Lacedonia	Lacedonia (AV)	Campania	535783,20	4544766,20	717,00	63692,80	Nord
Lagopesole	Avigliano (PZ)	Basilicata	562069,20	4517153,30	782,00	72759,19	Nord
Latiano	Avigliano (PZ)	Basilicata	729461,30	4492174,40	107,00	19304,75	Nord
Lavello	Lavello (PZ)	Basilicata	566759,50	4544586,10	328,00	46192,31	Nord
Lecce	Lecce (LE)	Puglia	768980,70	4472343,10	50,00	10884,06	Nord
Lesina	Lesina (FG)	Puglia	529318,20	4634539,70	13,00	4763,16	Ovest
Lizzano	Lizzano (TA)	Puglia	707847,60	4473631,00	63,00	6131,47	Sud
Loconia	Canosa di Puglia (BT)	Puglia	578906,10	4557012,70	102,00	29639,48	Nord
Locorotondo	Locorotondo (BA)	Puglia	697389,70	4514012,50	404,00	14422,55	Nord-Est
Lucera	Lucera (FG)	Puglia	528011,50	4595502,10	226,00	43676,22	Est
Maglie	Maglie (LE)	Puglia	780678,20	4446165,20	102,00	15965,70	Est
Manduria	Manduria (TA)	Puglia	723637,70	4475261,60	81,00	10273,53	Est
Manfredonia	Manfredonia (FG)	Puglia	573371,00	4603865,60	2,00	1130,38	Nord-Ovest
Massafra	Massafra (TA)	Puglia	678460,10	4493776,50	110,00	5970,15	Nord
Masseria Brela II Pod. 115	Candela (FG)	Puglia	547310,60	4552848,00	245,00	49763,41	Nord
Masseria Chiancarello	Mottola (TA)	Puglia	680800,97	4507503,00	467,00	19956,78	Nord

NOME STAZIONE	COMUNE	REGIONE	COORDINATE		M S.L.M.	DISTANZA DAL MARE (m)	ESPOSIZIONE
			UTMX	UTMY			
Masseria Monteruga	Nardò (LE)	Puglia	741269,80	4470730,60	67,00	7081,09	Est
Masseria Santa Chiara	Trinitapoli (BT)	Puglia	594920,60	4576721,50	9,00	4739,83	Nord
Melendugno	Melendugno (LE)	Puglia	783434,00	4462979,60	50,00	6917,61	Sud-Est
Melfi	Melfi (PZ)	Basilicata	552758,90	4537739,30	533,00	58803,54	Nord
Mercadante	Cassano delle murge (BA)	Puglia	643260,50	4527900,70	393,00	29512,37	Ovest
Minervino di Lecce	Minervino di Lecce (LE)	Puglia	791536,80	4443493,50	104,00	5581,33	Nord
Minervino Murge	Minervino Murge (BT)	Puglia	591064,40	4547652,00	454,00	32031,29	Est
Monte Sant'Angelo	Monte Sant'Angelo (FG)	Puglia	580020,10	4617529,60	817,00	5161,68	Sud
Monteleone di Puglia	Monteleone di Puglia (FG)	Puglia	521705,70	4556971,70	844,00	66852,41	Ovest
Montemilone	Montemilone (PZ)	Basilicata	581182,20	4541993,20	343,00	41937,96	Nord
Monticchio	Rionero in Vulture (PZ)	Basilicata	551075,20	4531871,00	747,00	64710,73	Nord
Nardò	Nardò (LE)	Puglia	758334,20	4451346,70	52,00	5187,17	Ovest
Noci	Noci (BA)	Puglia	679095,60	4518205,60	431,00	22833,89	Ovest
Novoli	Novoli (LE)	Puglia	759031,40	4474191,30	51,00	14493,91	Nord
Nusco	Nusco (AV)	Campania	507044,60	4526282,00	841,00	97257,26	Nord
Orsara di Puglia	Orsara di Puglia (FG)	Puglia	522318,30	4569916,40	683,00	60066,39	Ovest
Ortanova	Ortanova (FG)	Puglia	559151,70	4575168,90	80,00	25844,74	Nord
Orto di Zolfo	Biccari (FG)	Puglia	512874,10	4579999,20	854,00	61145,29	Nord
Ostuni	Ostuni (BR)	Puglia	717709,90	4511508,10	234,00	7220,54	Est
Otranto	Otranto (LE)	Puglia	797186,80	4449554,40	29,00	541,07	Nord
Pescopagano	Pescopagano (PZ)	Basilicata	533635,50	4520317,40	920,00	83940,76	Nord
Pietramontecorvino AQP	Pietramontecorvino (FG)	Puglia	519940,20	4596998,70	225,00	43452,97	Sud
Pietramontecorvino	Pietramontecorvino (FG)	Puglia	510754,60	4599088,40	464,00	42316,10	Sud
Polignano a mare	Polignano a mare (BA)	Puglia	686649,70	4540146,30	50,00	759,77	Nord
Presicce	Presicce (LE)	Puglia	779316,60	4421387,70	105,00	6527,72	Sud
Ripacandida	Ripacandida (PZ)	Basilicata	561961,30	4529703,70	658,00	61723,52	Nord
Rocchetta Sant'Antonio Scalo	Rocchetta Sant'Antonio (FG)	Puglia	539088,20	4550519,00	679,00	57286,71	Ovest
Rocchetta Sant'Antonio	Rocchetta Sant'Antonio (FG)	Puglia	546139,30	4547649,20	220,00	54634,89	Est
Ruffano	Ruffano (LE)	Puglia	777255,90	4430876,20	140,00	13571,37	Est
Ruvo di Puglia	Ruvo di Puglia (BA)	Puglia	624555,70	4552433,30	276,00	13563,38	Sud
San Fele	San Fele (PZ)	Basilicata	545561,50	4518882,90	902,00	78735,53	Nord
San Giorgio Jonico	San Giorgio Jonico (TA)	Puglia	701991,30	4481296,30	86,00	10938,77	Est
San Giovanni Rotondo	San Giovanni Rotondo (FG)	Puglia	558967,00	4617451,40	572,00	18871,16	Sud
San Marco in Lamis	San Marco in Lamis (FG)	Puglia	552920,50	4617795,80	564,00	23026,76	Nord
San Pancrazio Salentino	San Pancrazio Salentino (BR)	Puglia	740936,50	4478085,70	64,00	14279,07	Nord
San Pietro Vernotico	San Pietro Vernotico (BR)	Puglia	754417,70	4485432,40	49,00	8540,88	Nord

NOME STAZIONE	COMUNE	REGIONE	COORDINATE		M S.L.M.	DISTANZA DAL MARE (m)	ESPOSIZIONE
			UTMX	UTMY			
San Severo	San Severo (FG)	Puglia	531940,80	4615740,80	97,00	23274,36	Nord
San Vito dei Normanni	San Vito dei Normanni (BR)	Puglia	728719,90	4504209,20	116,00	9292,05	Nord
Sannicandro Garganico	Sannicandro Garganico (FG)	Puglia	546701,70	4631844,50	236,00	8910,87	Sud
Santa Maria di Leuca	Castrignano del Capo (LE)	Puglia	787239,00	4410792,40	26,00	130,35	Sud
Sant'Agata di Puglia	Sant'Agata di Puglia (FG)	Puglia	531992,20	4555393,70	710,00	59403,48	Est
Sant'Angelo dei Lombardi	Sant'Angelo dei Lombardi (AV)	Campania	514222,70	4529592,00	875,00	89721,92	Nord
Santeramo in Colle	Santeramo in Colle (BA)	Puglia	648564,20	4517174,80	489,00	37837,50	Est
Savignano Irpino	Savignano Irpino (AV)	Campania	515390,20	4563731,10	718,00	68958,07	Nord
Spinazzola	Spinazzola (BT)	Puglia	592315,00	4535068,40	458,00	43157,11	Ovest
Talsano	Talsano (TA)	Puglia	692844,10	4475769,40	37,00	1895,42	Sud
Taranto	Taranto (TA)	Puglia	690795,70	4481728,00	27,00	226,54	Ovest
Taviano	Taviano (LE)	Puglia	763750,50	4430306,00	72,00	5589,11	Nord
Teora	Teora (AV)	Campania	520445,50	4521635,00	687,00	91092,77	Nord
Tertiveri	Biccari (FG)	Puglia	517209,00	4586826,80	364,00	53982,94	Est
Torremaggiore	Torremaggiore (FG)	Puglia	524304,50	4615334,50	184,00	24605,45	Est
Troia	Troia (FG)	Puglia	525894,30	4578930,20	448,00	53315,06	Nord
Turi	Turi (BA)	Puglia	670292,90	4531902,20	260,00	16468,29	Nord
Venosa	Venosa (PZ)	Basilicata	567217,70	4534339,00	426,00	55148,42	Nord
Vico del Gargano	Vico del Gargano (FG)	Puglia	579496,60	4638143,80	450,00	5313,61	Ovest
Vieste	Vieste (FG)	Puglia	597511,90	4637115,50	53,00	230,67	Sud
Vignacastrisi	Ortelle (LE)	Puglia	790953,50	4434640,50	99,00	1704,54	Nord
Volturino	Volturino (FG)	Puglia	510640,40	4591745,30	713,00	49624,71	Est

Figura 5.6

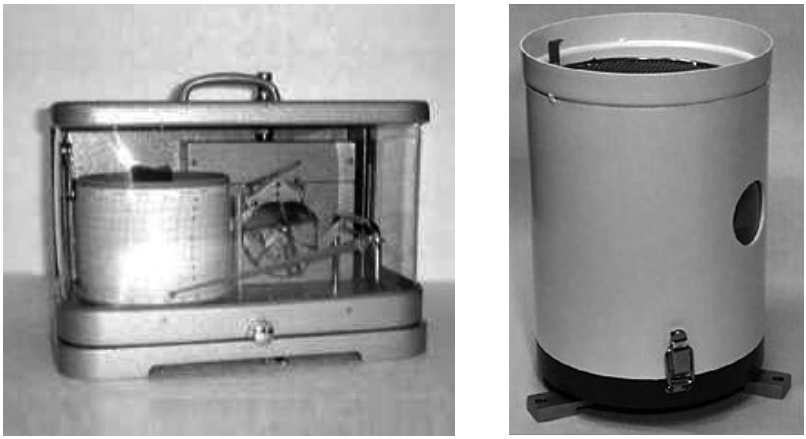
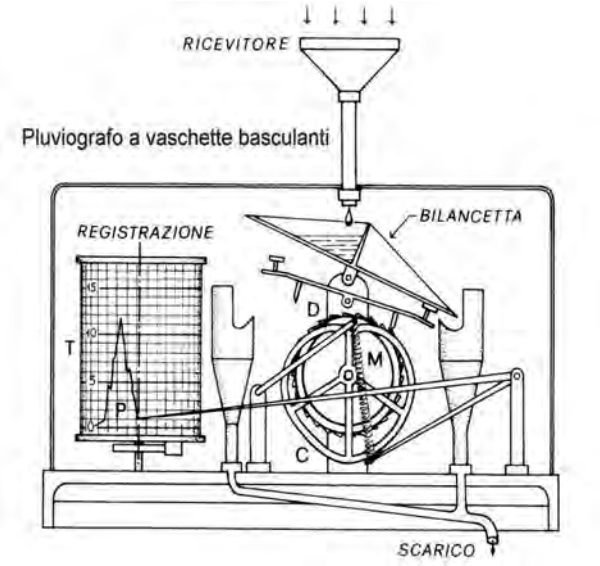


Figura 5.7 – Pluviometro/Pluviografo. Il sensore pluviometrico misura la precipitazione raccolta da una bocca tarata di 1000 cm², di forma circolare (ad imbuto) e fornisce un segnale per ogni quinto di millimetro di acqua caduta (20g). L'elemento sensibile è costituito da una coppia di vaschette basculanti.



6. Elaborazione dei dati

6.1 Analisi strutturale temperature massime

6.1.1 Analisi descrittive

Nella tabella 6.1 sono rappresentate le statistiche descrittive che riguardano la variabile "temperature massime mensili". I mesi invernali (novembre, dicembre, gennaio e febbraio) sono quelli maggiormente variabili intorno al valor medio, di contro il mese di agosto è quello con minore deviazione standard (*1,6*). L'ipotesi di normalità delle distribuzioni dei dati è verificata attraverso il test di Kolmogorv-Smirnov (KS). In 5 casi i dati superano il test di normalità. Osservando gli intervalli di confidenza le temperature massime mensili sembrano tutte ben separate ad eccezione dei mesi di gennaio/febbraio e luglio/agosto.

Tabella 6.1

Mese	N	Media	DevStd	Errore Std	Mediana	Min	Max	Int. Confidenza al 95%		KS	Normalità
Gennaio	81	10,7	2,2	0,2	11,5	5,4	13,7	10,2	11,2	0,16	no
Febbraio	81	11,3	2,1	0,2	12	5,9	14,3	10,9	11,8	0,16	no
Marzo	81	14,1	1,8	0,2	14,9	9,4	16,5	13,7	14,5	0,19	no
Aprile	81	17,1	1,8	0,2	17,5	12,6	19,4	16,7	17,5	0,18	no
Maggio	81	22,3	1,7	0,2	22,6	17,8	24,8	21,9	22,7	0,14	si
Giugno	81	26,8	1,8	0,2	27,1	22,2	29,3	26,4	27,2	0,12	si
Luglio	81	29,6	1,7	0,2	29,8	25,2	32,7	29,2	30	0,11	si
Agosto	81	29,5	1,6	0,2	29,6	25,4	32,3	29,2	29,9	0,12	si
Settembre	81	25,2	1,7	0,2	25,6	20,5	28,3	24,8	25,6	0,15	no
Ottobre	81	20,7	1,8	0,2	21,4	16	23,6	20,3	21,1	0,18	no
Novembre	81	15,3	2,1	0,2	16,1	18,4	10,1	14,8	15,8	0,16	no
Dicembre	81	11,8	2,2	0,2	12,5	6,2	14,8	11,3	12,3	0,15	si

Nella tabella 6.2 si rappresenta il valore mensile del coefficiente di correlazione fra le temperature massime e l'altezza sul livello del mare (HSLM) e l'esposizione. Come ben noto, si registra il forte legame lineare fra le temperature e l'elevazione: al crescere delle seconde diminuisce la temperatura. Meno evidente è il legame con l'esposizione.

Tabella 6.2

Mese	HSLM	Esposizione
Gennaio	-0,97	-0,82
Febbraio	-0,97	-0,79
Marzo	-0,95	-0,73
Aprile	-0,92	-0,70
Maggio	-0,83	-0,57
Giugno	-0,75	-0,47
Luglio	-0,70	-0,41
Agosto	-0,73	-0,44
Settembre	-0,89	-0,65
Ottobre	-0,95	-0,73
Novembre	-0,97	-0,80
Dicembre	-0,97	-0,82

L'altezza sul livello del mare diventa quindi un fattore in grado di spiegare una buona parte della variazione delle temperature massime. Un'analisi immediata potrebbe limitarsi all'applicazione della relazione lineare al *Digital Elevation Model* (DEM) al fine di costruirsi la mappa delle temperature massime. In questa sede si intende procedere comunque con l'analisi geostatistica perché è in grado di fornire la varianza di stima. L'analisi strutturale e la susseguente interpolazione sarà eseguita sui residui cioè sulla parte di variazione che rimane a fronte del contributo lineare fornito dall'elevazione. Questi stessi residui sono interpolati con il kriging ordinario e ai valori interpolati è infine aggiunto il contributo lineare dell'elevazione. Si sottolinea che l'interpretazione della varianza di stima come intervallo di confidenza necessita dell'ipotesi di normalità dei residui.

I residui per ciascun mese sono costruiti sottraendo ai valori di temperature massima la relazione lineare con l'altezza sul livello del mare. Il test di normalità sui residui è presentato, per ciascun mese, nella tabella 6.3, laddove si riscontra per tutti i residui la forma normale a livello di significatività 0,05 del KS test.

Tabella 6.3

Mese	KS	Normalità
Gennaio	0,06	si
Febbraio	0,09	si
Marzo	0,05	si
Aprile	0,06	si
Maggio	0,09	si
Giugno	0,07	si
Luglio	0,09	si
Agosto	0,07	si
Settembre	0,08	si
Ottobre	0,04	si
Novembre	0,08	si
Dicembre	0,07	si

6.1.2 Variografia

L'analisi strutturale per i residui della variabile temperature massime è avvenuta per ciascun mese attraverso il calcolo del variogramma sperimentale e l'adattamento del modello guidato dalle statistiche U (errore di sistematicità) e V^2 (congruenza varianza di stima). Nella tabella 6.4 si ha una descrizione di queste statistiche per ciascun mese.

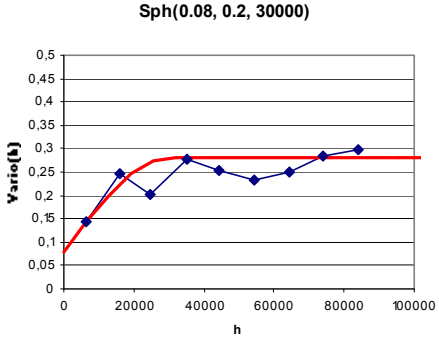
Tabella 6.4

	U	V^2
Gennaio	0,01	0,8
Febbraio	0	0,8
Marzo	-0,02	1,1
Aprile	-0,03	1,3
Maggio	-0,05	2,0
Giugno	-0,06	2,4
Luglio	-0,05	1,9
Agosto	-0,05	1,8
Settembre	-0,02	1,4
Ottobre	-0,01	1,2
Novembre	0	1,6
Dicembre	0,02	1,8

La validazione mostra una trascurabile sottostima del Kriging ordinario nei mesi di gennaio e dicembre e sovrastima nei restanti mesi tale da configurare una significativa stima priva di errore sistematico. Sulla varianza di stima si riscontra un andamento significativo intorno ad 1. La distanza maggiore fra la media dei rapporti fra differenze quadratiche del valore noto e incognito e varianza di stima del kriging è nel mese di giugno (2.4).

In figura 6.1 si rappresenta il variogramma dei residui del mese di gennaio ottenuti sottraendo ai valori di temperature massima la relazione lineare *temp_max = 12,83 – 0,01 hslm*

Figura 6.1



Tali residui hanno media *-0,01* e varianza *0,29*. La distribuzione spaziale della rete impone un passo di continuità di *9 km* (*lag*) che porta nei primi tre intervalli un numero di coppie pari rispettivamente a *36, 186, 276*. Si riscontra un andamento continuo di tipo sferico ed una massima distanza di correlazione (*range*) di circa 30 *km*. È previsto un parametro di *nugget* pari a *0,08* in quanto si suppone che al disotto dei *9 km* non possa essere esclusa una continuità che la distribuzione spaziale della rete non è in grado di cogliere. Dai punti sperimentali si può notare che questi si assestano intorno alla varianza dei residui pertanto non sembra evidenziarsi un *trend* spaziale sui dati da cui consegue, tra l'altro, la scelta del modello di tipo sferico.

Il *kriging ordinario* all'interno del processo di cross-validazione (*z*kri*) è confrontato con la relazione lineare in cui interviene solo l'elevazione (*z*regr*). Nella tabella seguente le principali caratteristiche statistiche della variabile temperatura massima di gennaio (*z*) sono confrontate con le due stime *z*kri* e *z*regr*.

Tabella 6.5

	z	z*regr	z*kri	z-z*kri	z-z*regr
min	5,88	5,70	5,68	-2,46	-2,09
max	14,30	12,82	13,14	1,84	1,78
media	11,32	10,72	10,72	-0,61	-0,60
dev.std	2,09	2,12	2,19	0,56	0,54

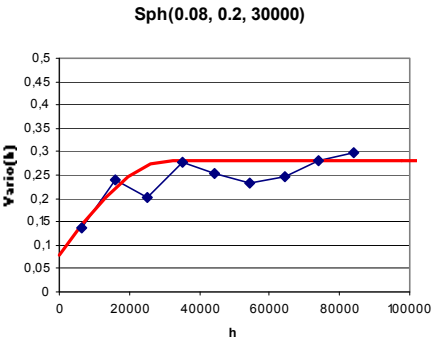
Si può notare che la media delle due stime è identica: entrambi tendono a sottostimare. Il kriging si avvicina di più al valore massimo di *z*. Sono poco significative le altre differenze.

Il mese di febbraio si presenta con media di temperature massime pari a *-0,003* °C ed una varianza di *0,29* °C^2 mentre la relazione lineare è del tipo

temp_max = 13,34 – 0,007 hslm.

La figura seguente mostra per febbraio le stesse caratteristiche strutturali di gennaio descritte da un modello sferico con un *sill* totale che si assesta intorno alla varianza (*0,28*), di questa una parte pari a *0.08* è assoggettata alla variabilità non nota alla scala di osservazione della rete e con una distanza di influenza pari a 30 *km*.

Figura 6.2



Le stime *z*kri* sono più vicine al massimo e alla deviazione di standard *z* rispetto alle *z*regr*.

Tabella 6.6

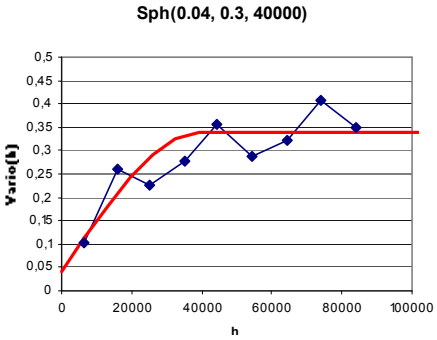
	z	z*regr	z*kri	z-z*kri	z-z*regr
min	5,88	6,53	6,56	-1,57	-1,42
max	14,30	13,32	13,61	2,23	2,30
media	11,32	11,32	11,33	0,00	0,00
dev,std	2,09	2,02	2,07	0,52	0,53

Il mese di marzo ha la media dei residui pari a *-0,008* °C ed una varianza di *0,32* °C^2 mentre la relazione lineare è del tipo

temp_max = 15,865 – 0,006 hslm.

L'andamento del variogramma è di tipo sferico con un assestamento intorno alla varianza ed un *nugget* pari a 0.04 °C. Il raggio di influenza è di 40 *km*.

Figura 6.3



Le stime del Kriging ordinario z*kri sono più vicine alle caratteristiche del campione z rispetto alle stime z*regr.

Tabella 6.7

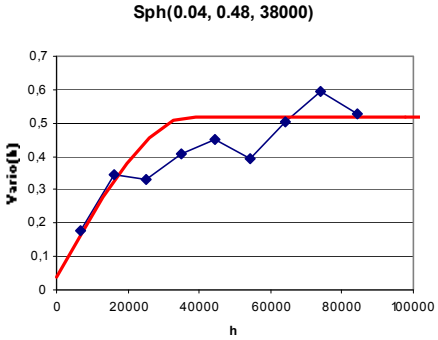
	z	z*regr	z*kri	z-z*kri	z-z*regr
min	9,41	9,94	9,72	-1,15	-1,09
max	16,55	15,85	16,30	1,58	1,75
media	14,11	14,11	14,13	0,02	0,00
dev,std	1,85	1,76	1,77	0,53	0,57

Nel mese di aprile la media dei residui è 0,01 °C mentre la varianza è 0,48 °C^2 mentre la relazione lineare è del tipo

z*regr=18,72 – 0,006 *hslm*

Il modello di variogramma si conferma essere sferico con nugget 0,04 e *sill* che si assesta intorno alla varianza.

Figura 6.4



Le stime z*kri sono più vicine a quelle della variabile z rispetto a z*regr.

Tabella 6.8

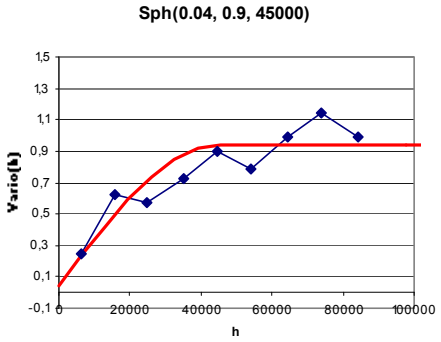
	z	z*regr	z*kri	z-z*kri	z-z*regr
min	12,57	13,15	12,90	-1,18	-1,54
max	19,42	18,71	19,53	1,50	1,47
media	17,07	17,07	17,10	0,03	0,00
dev,std	1,79	1,65	1,70	0,59	0,69

Nel mese di maggio la media dei residui è 0,01 °C e la varianza è 0,91 °C^2, il modello lineare è

z*regr=23,66 – 0,005 *hslm*

Il variogramm è sferico con *range* di influenza di 45 km ed effetto *nugget* di sottocampionamento di 0,04, assestato intorno alla varianza dei residui.

Figura 6.5



Le statistiche sulle stime confermano la maggiore vicinanza del Kriging ordinario rispetto alla regressione.

Tabella 6.9

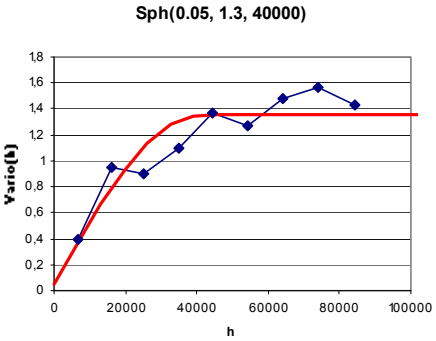
	z	z*regr	z*kri	z-z*kri	z-z*regr
min	17,78	18,92	18,08	-1,49	-1,92
max	24,81	23,68	24,92	1,82	2,04
media	22,28	22,28	22,32	0,05	0,00
dev,std	1,71	1,42	1,56	0,75	0,96

Nel mese di giugno la media dei residui è 0,01 °C^2 e la varianza è 1,35 °C^2, il modello lineare è

z*regr=28,14 – 0,0048 *hslm*

Il variogramma è sferico con *range* di influenza di 40 km ed effetto *nugget* di sottocampionamento di 0,05, assestato intorno alla varianza dei residui.

Figura 6.6



Le statistiche sulle stime confermano la maggiore vicinanza del Kriging ordinario rispetto alla regressione

Tabella 6.10

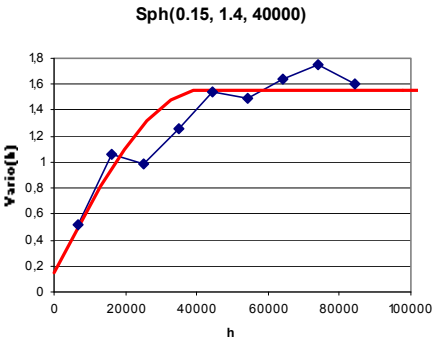
	z	z*regr	z*kri	z-z*kri	z-z*regr
min	22,19	23,71	22,68	-1,94	-2,23
max	29,33	28,13	29,43	2,42	2,53
media	26,83	26,83	26,89	0,06	0,00
dev,std	1,75	1,32	1,53	0,92	1,16

Nel mese di luglio la media dei residui è 0,01 °C e la varianza è 1,5 °C^2, il modello lineare è

z*regr=30,8 – 0,0044 *hslm*

Il variogramma è sferico con *range* di influenza di 40 km, effetto *nugget* di sottocampionamento di 0,15 assestato intorno alla varianza dei residui.

Figura 6.7



Le statistiche sulle stime confermano la maggiore vicinanza del Kriging ordinario rispetto alla regressione

Tabella 6.11

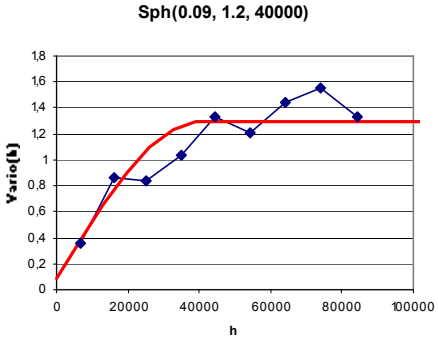
	z	z*regr	z*kri	z-z*kri	z-z*regr
min	25,20	26,78	25,83	-1,99	-2,38
max	32,70	30,78	31,93	2,38	2,84
media	29,60	29,60	29,65	0,05	0,00
dev,std	1,71	1,19	1,42	0,97	1,22

Nel mese di agosto la media dei residui è 0,01 °C e la varianza è 1,26 °C^2, il modello lineare è

z*regr=30,7 – 0,004 *hslm*

Il variogramma è sferico con *range* di influenza di 40 km, effetto *nugget* di sottocampionamento di 0,09 assestato intorno alla varianza dei residui.

Figura 6.8



Le statistiche sulle stime confermano la maggiore vicinanza del Kriging ordinario rispetto alla regressione

Tabella 6.12

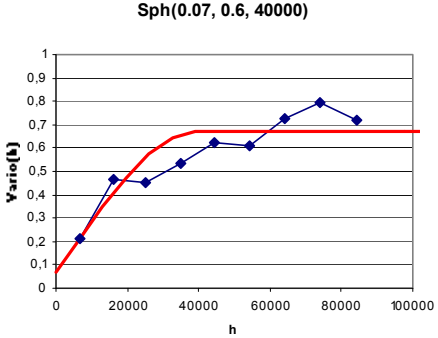
	z	z*regr	z*kri	z-z*kri	z-z*regr
min	25,37	26,70	25,73	-1,73	-2,23
max	32,32	30,71	32,03	1,94	2,52
media	29,53	29,53	29,57	0,05	0,00
dev,std	1,63	1,19	1,40	0,87	1,12

Nel mese di settembre la media dei residui è 0,01 °C e la varianza è 0,63 °C^2, il modello lineare è

z*regr=26,8 – 0,006 *hslm*

Il variogramma è sferico con *range* di influenza di 40 km, effetto *nugget* di sottocampionamento di 0,07 assestato intorno alla varianza dei residui.

Figura 6.9



Le statistiche sulle stime confermano la maggiore vicinanza del Kriging ordinario rispetto alla regressione

Tabella 6.13

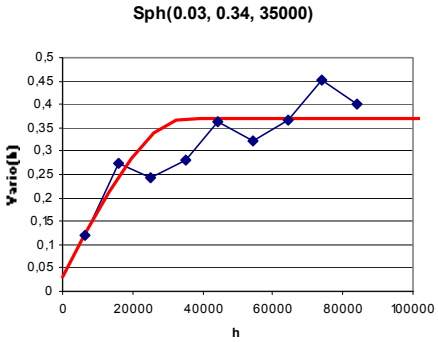
	z	z*regr	z*kri	z-z*kri	z-z*regr
min	20,48	21,56	21,29	-1,73	-1,87
max	28,29	26,76	27,55	1,46	1,55
media	25,23	25,23	25,26	0,02	0,00
dev,std	1,74	1,55	1,62	0,67	0,79

Nel mese di ottobre la media dei residui è 0,004 °C^2 e la varianza è 0,35 °C^2, il modello lineare è

z*regr=22,5 – 0,006 *hslm*

Il variogramma è sferico con *range* di influenza di 35 km, effetto *nugget* di sottocampionamento di 0,03 assestato intorno alla varianza dei residui

Figura 6.10



Le statistiche sulle stime confermano la maggiore vicinanza del Kriging ordinario rispetto alla regressione

Tabella 6.14

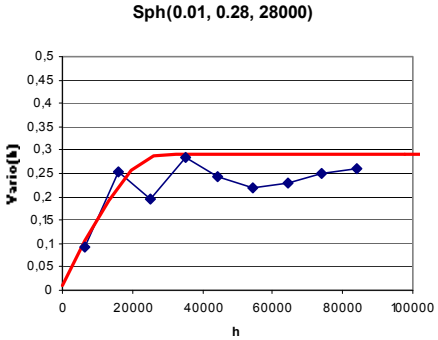
	z	z*regr	z*kri	z-z*kri	z-z*regr
min	16,01	16,60	16,43	-1,37	-1,53
max	23,58	22,44	22,94	1,57	1,89
media	20,72	20,72	20,73	0,01	0,00
dev,std	1,84	1,74	1,77	0,54	0,59

Nel mese di novembre la media dei residui è -0,003 °C e la varianza è 0,29 °C^2, il modello lineare è

z*regr=17,3 – 0,007 *hslm*

Il variogramma è sferico con *range* di influenza di 28 km, effetto *nugget* di sottocampionamento di 0,01 assestato intorno alla varianza dei residui

Figura 6.11



Le statistiche sulle stime confermano la maggiore vicinanza del Kriging ordinario rispetto alla regressione

Tabella 6.15

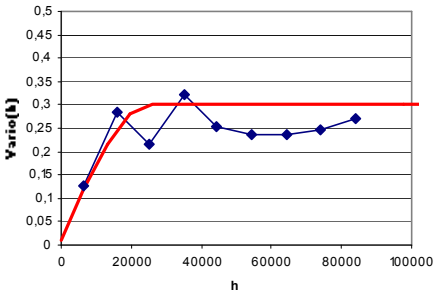
	z	z*regr	z*kri	z-z*kri	z-z*regr
min	10,11	10,47	10,45	-1,10	-1,51
max	18,35	17,30	17,70	2,54	2,40
media	15,29	15,29	15,29	0,00	0,00
dev,std	2,10	2,03	2,09	0,53	0,53

Nel mese di dicembre la media dei residui è -0,01 °C e la varianza è 0,30 °C^2, il modello lineare è

z*regr=13,9 – 0,008 *hslm*

Il variogramma è sferico con *range* di influenza di 25 km, effetto *nugget* di sottocampionamento di 0,01 assestato intorno alla varianza dei residui

Figura 6.12



Le statistiche sulle stime confermano la maggiore vicinanza del Kriging ordinario rispetto alla regressione

Tabella 6.16

	z	z*regr	z*kri	z-z*kri	z-z*regr
min	6,16	6,71	6,41	-1,36	-1,41
max	14,81	13,88	14,16	2,67	2,43
media	11,77	11,77	11,75	-0,02	0,00
dev,std	2,20	2,13	2,21	0,57	0,55

6.2 Analisi strutturale temperature minime

6.2.1 Analisi descrittive

Nella tabella 6.17 sono rappresentate le statistiche descrittive che riguardano la variabile "temperature minime mensili". Si nota che tutti i mesi mostrano una simile variabilità intorno alla media, compresa fra 3,5 $°C^2$ e 3,8 $°C^2$. L'ipotesi di normalità delle distribuzioni dei dati è confermata dal test di Kolmogorv-Smirnov (KS) che è superato per tutti i mesi al livello di significatività 0,05. Osservando gli intervalli di confidenza, le temperature minime mensili sembrano tutte ben separate ad eccezione dei mesi di gennaio/febbraio e luglio/agosto.

Tabella 6.17

Mese	N	Media	DevStd	Errore Std	Mediana	Min	Max	Int, Confidenza al 95%		KS	Normalità
Gennaio	81	4,4	1,9	0,2	4,5	0,2	8,8	4	4,9	0,07	si
Febbraio	81	4,4	1,9	0,2	4,4	0	8,7	4	4,8	0,08	si
Marzo	81	6,3	1,8	0,2	6,6	2,1	10,1	5,9	6,7	0,09	si
Aprile	81	8,6	1,9	0,2	8,9	4,4	12,3	8,2	9	0,09	si
Maggio	81	13	1,8	0,2	13,3	8,5	16	12,6	13,4	0,09	si
Giugno	81	16,8	1,9	0,2	17,3	11,9	19,7	16,4	17,3	0,1	si
Luglio	81	19,4	1,9	0,2	19,7	14,1	22,4	18,9	19,8	0,13	si
Agosto	81	19,5	1,8	0,2	19,8	14,4	22,6	19,1	19,9	0,11	si
Settembre	81	16,2	1,9	0,2	16,6	11,5	19,8	15,8	16,6	0,09	si
Ottobre	81	12,9	1,9	0,2	13,2	8,6	16,8	12,5	13,3	0,08	si
Novembre	81	8,7	2	0,2	9	4,3	13,1	8,3	9,2	0,07	si
Dicembre	81	5,7	1,9	0,2	5,8	1,6	10,2	5,3	6,2	0,07	si

Nella tabella 6.18 si rappresenta il valore mensile del coefficiente di correlazione fra le temperature minime e l'altezza sul livello del mare (HSLM) e l'esposizione. Anche in questo caso, così come per le temperature massime, si registra il forte legame lineare con l'elevazione: al crescere delle seconde diminuisce la temperatura. È poco significativo li legame lineare con l'esposizione che arriva al massimo al valore di 0,11 mentre nel caso delle temperature massime è arrivato al valore di -0,82 nei mesi di gennaio e dicembre.

Tabella 6.18

Mese	HSLM	Esposizione
Gennaio	-0,834	0,10
Febbraio	-0,809	0,11
Marzo	-0,836	0,10
Aprile	-0,848	0,11
Maggio	-0,826	0,10
Giugno	-0,812	0,08
Luglio	-0,796	0,09
Agosto	-0,775	0,08
Settembre	-0,821	0,10
Ottobre	-0,825	0,10
Novembre	-0,809	0,11
Dicembre	-0,836	0,10

L'altezza sul livello del mare resta quindi un fattore esterno in grado di spiegare una buona parte della variazione delle temperature minime. Si procede come nel caso delle temperature massime ad effettuare l'analisi geostatistica sui residui cioè sulla parte di variazione che rimane a fronte del contributo lineare fornito dall'elevazione. Questi stessi residui sono interpolati con il kriging ordinario e ai valori interpolati è infine aggiunto il contributo lineare dell'elevazione. Per questi residui i risultati del test di KS confortano sulla presenza di normalità utile per trattare la varianza di stima del kriging come intervallo di confidenza (vedi tabella 6.19):

Tabella 6.19

Mese	KS	Normaiità
Gennaio	0,1	si
Febbraio	0,08	si
Marzo	0,11	si
Aprile	0,11	si
Maggio	0,08	si
Giugno	0,09	si
Luglio	0,08	si
Agosto	0,07	si
Settembre	0,09	si
Ottobre	0,12	si
Novembre	0,08	si
Dicembre	0,09	si

6.2.2 Variografia

L'analisi strutturale per i residui della variabile temperature minime è avvenuta per ciascun mese attraverso il calcolo del variogramma sperimentale e l'adattamento del modello guidato dalle statistiche U (errore di sistematicità) e V^2 (Congruenza varianza di stima). Nella tabella 6.20 si ha una descrizione di queste statistiche per ciascun mese,

Tabella 6.20

Mese	U	V^2
Gennaio	0,04	1,1
Febbraio	0,05	1,2
Marzo	0,04	1,1
Aprile	0,05	1,1
Maggio	0,04	1,1
Giugno	0,04	1,0
Luglio	0,05	1,0
Agosto	0,04	0,9
Settembre	0,04	1,0
Ottobre	0,05	1,1
Novembre	0,07	1,2
Dicembre	0,05	1,3

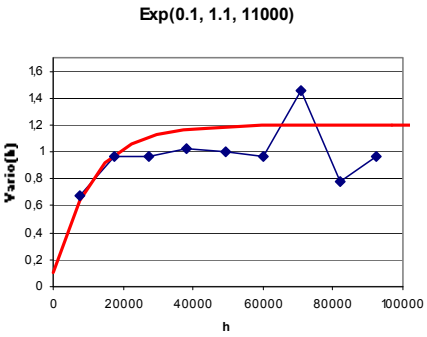
La validazione mostra una trascurabile sovrastima del Kriging ordinario in tutti i mesi dell'anno tale da configurare una significativa stima priva di errore sistematico. Sulla varianza di stima si riscontra un andamento significativo intorno ad 1. La distanza maggiore fra la media dei rapporti fra differenze quadratiche del valore noto e incognito e varianza di stima del kriging è nel mese di dicembre (1,3).

Nel mese di gennaio la media dei residui è 0,0 e la varianza è 1,07, il modello lineare è

$$z^*regr=5,6 - 0,006\ hslm$$

Il variogramma adattato è di tipo esponenziale con *range* di influenza di 1 *km*, effetto *nugget* di sottocampionamento di 0,1 (8,3% della variazione totale) assestato intorno alla varianza dei residui. Rispetto al modello sferico individuato per le temperature massime dello stesso mese si registra una minore continuità spaziale rappresentata dal modello esponenziale che, a parità di distanza, mostra una maggiore variabilità.

Figura 6.13



Le statistiche sulle stime confermano la maggiore vicinanza del Kriging ordinario rispetto alla regressione con l'altezza sul livello del mare.

Tabella 6.21

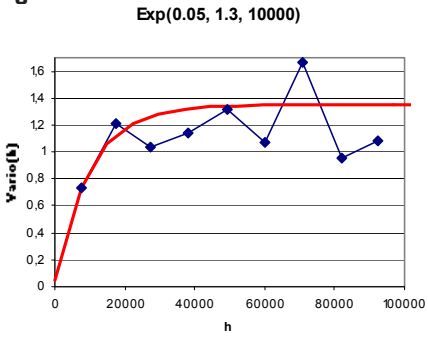
	z	z*regr	z*kri	z-z*kri	z-z*regr
min	0,19	0,74	0,46	-2,77	-2,94
max	8,76	5,98	6,63	2,81	3,10
media	4,44	4,44	4,40	-0,04	0,00
dev,std	1,87	1,56	1,72	1,08	1,03

Nel mese di febbraio la media dei residui è 0,0 °C e la varianza è 1,24 °C^2, il modello lineare è

z*regr=5,9 – 0,006 *hslm*

Il variogramma è esponenziale con *range* di influenza di 10 km, effetto *nugget* di sottocampionamento di 0,05 (3,7% della variazione totale) assestato intorno alla varianza dei residui. Rispetto a gennaio diminuisce la distanza massima di continuità che passa da 11 a 10 km.

Figura 6.14



Le statistiche sulle stime confermano la maggiore vicinanza del Kriging ordinario rispetto alla regressione

Tabella 6.22

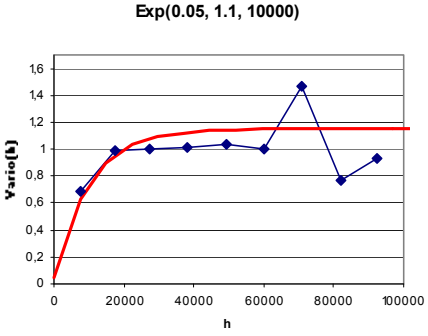
	z	z*regr	z*kri	z-z*kri	z-z*regr
min	-0,01	0,78	0,42	-3,32	-2,97
max	8,74	5,94	6,62	2,75	3,18
media	4,42	4,42	4,37	-0,05	0,00
dev,std	1,90	1,54	1,74	1,17	1,11

Nel mese di marzo la media dei residui è 0,0 °C e la varianza è 1,02 °C^2, il modello lineare è

z*regr=7,8 – 0,006 *hslm*

Il variogramma è esponenziale con *range* di influenza di 10 km, effetto *nugget* di sottocampionamento di 0,05 (4,3% della variazione totale) assestato intorno alla varianza dei residui. Si conferma la stessa distanza di correlazione (10 km) del mese di febbraio.

Figura 6.15



Le statistiche sulle stime confermano la maggiore vicinanza del Kriging ordinario rispetto alla regressione

Tabella 6.23

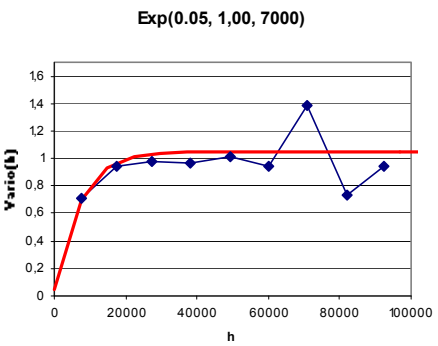
	z	z*regr	z*kri	z-z*kri	z-z*regr
min	2,12	2,67	2,42	-2,24	-2,47
max	10,13	7,83	8,62	2,52	2,84
media	6,31	6,31	6,27	-0,04	0,00
dev,std	1,84	1,54	1,68	1,07	1,01

Nel mese di aprile la media dei residui è 0,0 °C e la varianza è 0,96 °C^2, il modello lineare è

z*regr=10,2 – 0,006 *hslm*.

Il variogramma è esponenziale con *range* di influenza di 7 km, effetto *nugget* di sottocampionamento di 0,05 (4,3% della variazione totale) assestato intorno alla varianza dei residui. La continuità spaziale si riduce rispetto ai mesi precedenti andando al disotto dei 10 km.

Figura 6.16



Le statistiche sulle stime confermano la maggiore vicinanza del Kriging ordinario rispetto alla regressione

Tabella 6.24

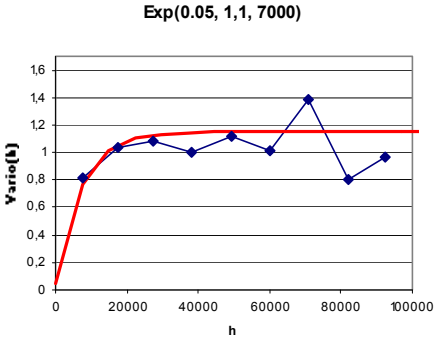
	z	z*regr	z*kri	z-z*kri	z-z*regr
min	4,37	4,91	4,65	-1,98	-2,25
max	12,26	10,18	10,95	2,55	2,69
media	8,63	8,63	8,58	-0,05	0,00
dev.std	1,85	1,57	1,72	1,04	0,98

Nel mese di maggio la media dei residui è 0,0 °C e la varianza è 0,98 °C^2, il modello lineare è

z*regr=14,4 – 0,005 *hslm*

Il variogramma è esponenziale con *range* di influenza di 7 km che conferma la minore continuità già registrata nel mese di aprile, effetto *nugget* di sottocampionamento di 0,05 (4,3% della variazione totale) assestato intorno alla varianza dei residui.

Figura 6.17



Le statistiche sulle stime confermano la maggiore vicinanza del Kriging ordinario rispetto alla regressione

Tabella 6.25

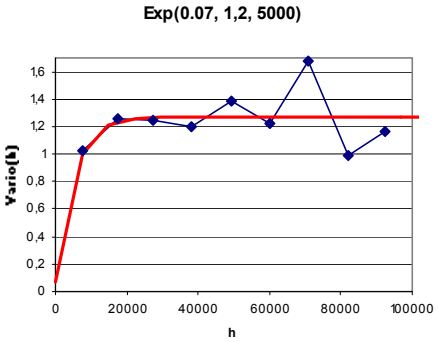
	z	z*regr	z*kri	z-z*kri	z-z*regr
min	8,54	9,55	9,18	-1,82	-1,75
max	16,03	14,43	15,34	2,71	2,75
media	13,00	13,00	12,96	-0,04	0,00
dev.std	1,76	1,45	1,60	1,08	0,99

Nel mese di giugno la media dei residui è 0,0 °C e la varianza è 1,18 °C^2, il modello lineare è

z*regr=18,3 – 0,005 *hslm*

Il variogramma si conferma essere quello esponenziale e si riduce ancora il *range* di influenza diminuendo di 2 km rispetto ai due mesi precedenti (5 km). L'effetto *nugget* di sottocampionamento è pari a 0,07 (5,5% della variazione totale) assestato intorno alla varianza dei residui.

Figura 6.18



Le statistiche sulle stime confermano la maggiore vicinanza del Kriging ordinario rispetto alla regressione

Tabella 6.26

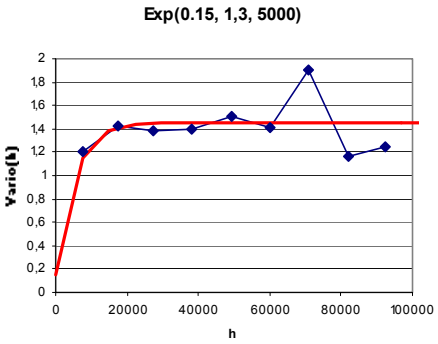
	z	z*regr	z*kri	z-z*kri	z-z*regr
min	11,88	13,27	12,81	-2,17	-1,59
max	19,68	18,34	19,23	3,01	3,20
media	16,85	16,85	16,81	-0,04	0,00
dev.std	1,86	1,51	1,66	1,16	1,08

Nel mese di luglio la media dei residui è 0,0 °C e la varianza è 1,31 °C^2, il modello lineare è

z*regr=20,9 – 0,006 *hslm*

Il variogramma è esponenziale con *range* di influenza di 5 km uguale al valore del mese di giugno, effetto *nugget* di sottocampionamento che cresce fino a 0,15 (10,1%) assestato intorno alla varianza dei residui

Figura 6.19



Le statistiche sulle stime confermano la maggiore vicinanza del Kriging ordinario rispetto alla regressione

Tabella 6.27

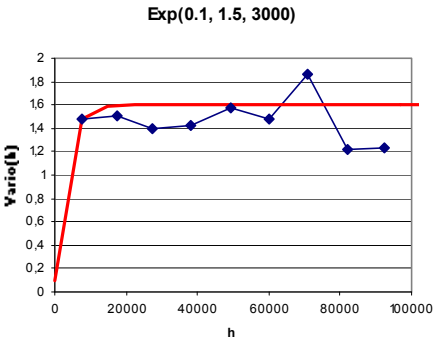
	z	z*regr	z*kri	z-z*kri	z-z*regr
min	14,11	15,79	15,27	-2,42	-1,81
max	22,38	20,85	21,69	3,61	3,77
media	19,36	19,36	19,32	-0,04	0,00
dev.std	1,89	1,51	1,64	1,23	1,15

Nel mese di agosto la media dei residui è 0,0 °C e la varianza è 1,36 °C^2, il modello lineare è

z*regr=20,9 – 0,005 *hslm*

Il variogramma è esponenziale con *range* di influenza che scende a 3 km rispetto al mese precedente riducendo così di un km la continuità spaziale delle temperature minime, effetto *nugget* di sottocampionamento di 0,1 (6% sulla variabilità totale), assestato intorno alla varianza dei residui.

Figura 6.20



Le statistiche sulle stime confermano la maggiore vicinanza del Kriging ordinario rispetto alla regressione

Tabella 6.28

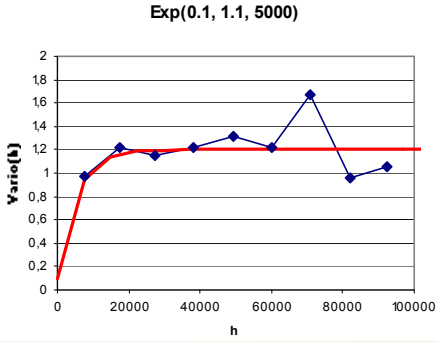
	z	z*regr	z*kri	z-z*kri	z-z*regr
min	14,35	16,13	15,67	-2,44	-1,84
max	22,59	20,93	21,56	3,80	3,79
media	19,51	19,51	19,47	-0,04	0,00
dev.std	1,84	1,43	1,55	1,26	1,16

Nel mese di settembre la media dei residui è 0,0 °C e la varianza è 1,17 °C^2, il modello lineare è

z*regr=17,8 – 0,006 *hslm*

Il variogramma è esponenziale con *range* di influenza che aumenta a 5 km rispetto al mese di agosto, effetto *nugget* di sottocampionamento di 0,1 circa il 10% della variabilità totale, assestato intorno alla varianza dei residui

Figura 6.21



Le statistiche sulle stime confermano la maggiore vicinanza del Kriging ordinario rispetto alla regressione

Tabella 6.29

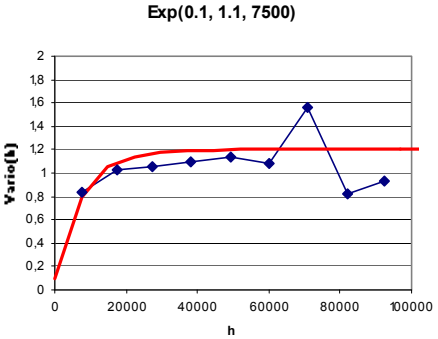
	z	z*regr	z*kri	z-z*kri	z-z*regr
min	11,46	12,55	12,11	-2,37	-2,20
max	19,80	17,76	18,38	3,35	3,67
media	16,22	16,22	16,18	-0,05	0,00
dev.std	1,89	1,55	1,70	1,14	1,08

Nel mese di ottobre la media dei residui è 0,0 °C e la varianza è 1,10 °C^2, il modello lineare è

z*regr=14,4 – 0,006 *hslm*

Il variogramma è esponenziale con *range* di influenza che continua a salire rispetto al mese precedente portandosi a 7,5 km, effetto *nugget* di sottocampionamento di 0,1, circa il 10% della variabilità totale, assestato intorno alla varianza dei residui

Figura 6.22



Le statistiche sulle stime confermano la maggiore vicinanza del Kriging ordinario rispetto alla regressione

Tabella 6.30

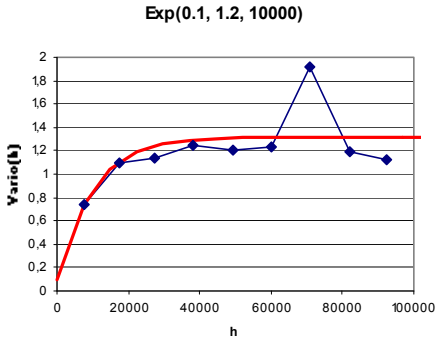
	z	z*regr	z*kri	z-z*kri	z-z*regr
min	8,56	9,28	8,99	-2,19	-2,53
max	16,79	14,42	14,96	3,04	3,71
media	12,91	12,91	12,86	-0,05	0,00
dev.std	1,86	1,53	1,71	1,08	1,05

Nel mese di novembre la media dei residui è 0,0 °C e la varianza è 1,33 °C^2, il modello lineare è

z*regr=10,3 – 0,006 *hslm*

Il variogramma è esponenziale con *range* di influenza che cresce ancora fino a 10 km, effetto *nugget* di sottocampionamento di 0,1 assestato intorno alla varianza dei residui

Figura 6.23



Le statistiche sulle stime confermano la maggiore vicinanza del Kriging ordinario rispetto alla regressione

Tabella 6.31

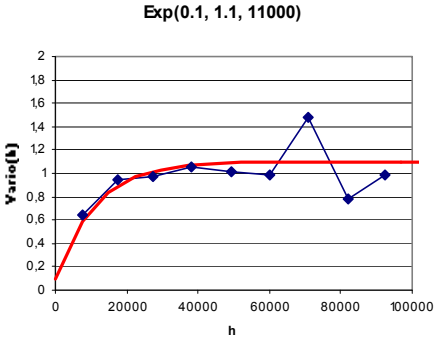
	z	z*regr	z*kri	z-z*kri	z-z*regr
min	4,28	4,96	4,65	-2,89	-3,01
max	13,14	10,30	11,02	2,74	3,82
media	8,73	8,73	8,66	-0,06	0,00
dev.std	1,96	1,59	1,82	1,15	1,16

Nel mese di dicembre la media dei residui è 0,0 °C e la varianza è 1,08 °C^2, il modello lineare è

z*regr=7,3 – 0,006 *hslm*

Il variogramma è esponenziale con *range* di influenza di 11 km, effetto *nugget* di sottocampionamento di 0,1 assestato intorno alla varianza dei residui

Figura 6.24



Le statistiche sulle stime confermano la maggiore vicinanza del Kriging ordinario rispetto alla regressione

Tabella 6.32

	z	z*regr	z*kri	z-z*kri	z-z*regr
min	1,58	1,97	1,65	-2,83	-3,05
max	10,18	7,31	7,99	2,70	3,20
media	5,74	5,74	5,69	-0,05	0,00
dev.std	1,90	1,59	1,76	1,08	1,04

6.3 Analisi strutturale totali precipitazioni

6.3.1 Statistiche descrittive

La pioggia è fenomeno dalla dinamica assai complessa stante l'influenza di numerosi fattori, quali l'orografia, la distanza dal mare, la direzione e l'intensità dei venti, la presenza / assenza di vaste aree boschive che possono essere elementi coadiuvanti o inibitori del fenomeno stesso, senza contare il fatto che la pioggia può essere originata da cause fisiche molto differenti (convezione o raffreddamento orografico); la risultante di ciò è una variabile che spesso, nel breve periodo, presenta una forte discontinuità spaziale manifestando macroscopicamente un andamento assimilabile alla casualità. Ciononostante, la precipitazione nel suo andamento medio di totali annuali all'interno di un intervallo temporale è, di fatto, una variabile regionalizzata, nel senso definito da *Matheron*, dunque si presta ad essere analizzata con i metodi della geostatistica. Tale media è stata effettuata per ciascuna stazione della rete di monitoraggio sulla stessa *coverage* temporale che va dal 1976 al 2005 che ha riguardato le temperature (paragrafo 6.2 e 6.3). Nel seguito è riportata la tabella contenente i valori delle principali statistiche descrittive delle variabili in studio:

Tabella 6.33: Sinossi delle statistiche descrittive relative ai 12 mesi

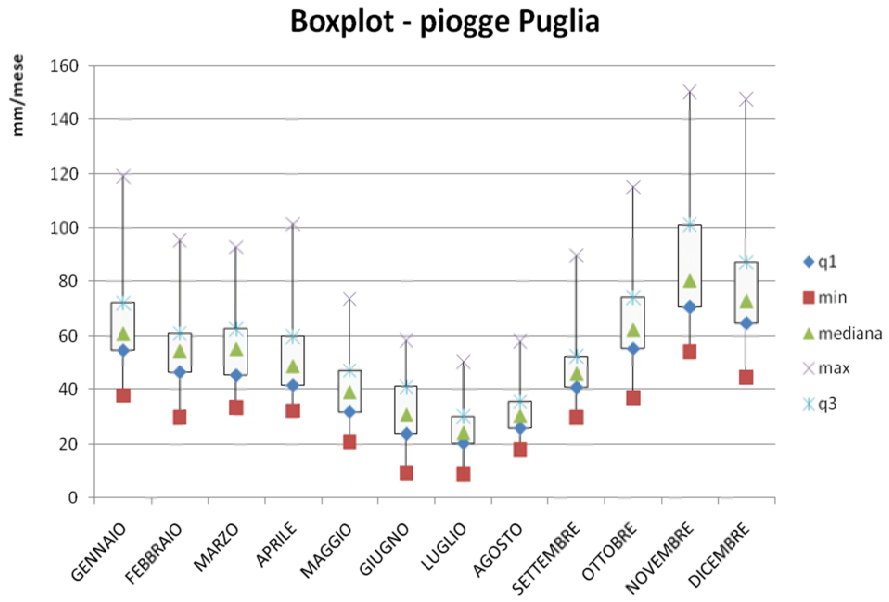
Mese	N	Media	Deviazione standard	Errore standard	Mediana
GENNAIO	125	64.75	15.00	1.34	61.05
FEBBRAIO	125	55.79	12.92	1.16	54.57
MARZO	125	55.75	12.02	1.07	55.32
APRILE	125	53.63	16.38	1.46	48.83
MAGGIO	125	40.55	10.75	0.96	39.17
GIUGNO	125	32.12	10.64	0.95	30.78
LUGLIO	125	25.39	7.49	0.67	24.12
AGOSTO	125	31.35	7.04	0.63	30.37
SETTEMBRE	125	48.41	11.24	1.01	46.02
OTTOBRE	125	66.65	17.15	1.53	62.46
NOVEMBRE	125	87.44	21.45	1.92	80.61
DICEMBRE	125	77.76	18.96	1.70	73.16

Tabella 6.34: Sinossi delle statistiche descrittive relative ai 12 mesi

Mese	Minimo	Massimo	Int. Confidenza al 95%	
GENNAIO	37.79	119.35	62.09	67.40
FEBBRAIO	29.94	95.53	53.50	58.08
MARZO	33.47	92.95	53.62	57.88
APRILE	32.28	101.72	50.73	56.53
MAGGIO	20.86	73.75	38.64	42.45
GIUGNO	9.35	58.73	30.24	34.00
LUGLIO	8.99	50.55	24.07	26.72
AGOSTO	18.06	58.33	30.11	32.60
SETTEMBRE	30.01	89.83	46.42	50.40
OTTOBRE	36.98	115.28	63.61	69.68
NOVEMBRE	54.41	150.71	83.64	91.24
DICEMBRE	44.53	147.77	74.40	81.11

Dall'osservazione delle media si ricava la conferma del tipico andamento stagionale delle piogge mentre i valori assunti dalla varianza e dal coefficiente di variazione indicano una spiccata discontinuità spaziale. Nella figura sottostante sono rappresentati gli andamenti sintetici delle piogge nei 12 mesi nelle stazioni della rete di monitoraggio mediante boxplots.

Figura 6.25: Boxplots rappresentanti gli andamenti delle piogge nei 12 mesi.



Al contrario della temperatura discussa nei paragrafi precedenti per la precipitazione non è possibile descrivere una parte della sua variabilità attraverso variabili esterne.

Infatti sono state anche effettuate verifiche su possibili correlazioni con variabili topografiche quali le coordinate (x, y, z), distanza dal mare ed esposizione, da tale analisi è emerso che nei mesi di aprile, maggio, giugno e luglio esiste una forte e significativa correlazione, soprattutto con le coordinate, che raggiunge il suo massimo nel mese di giugno.

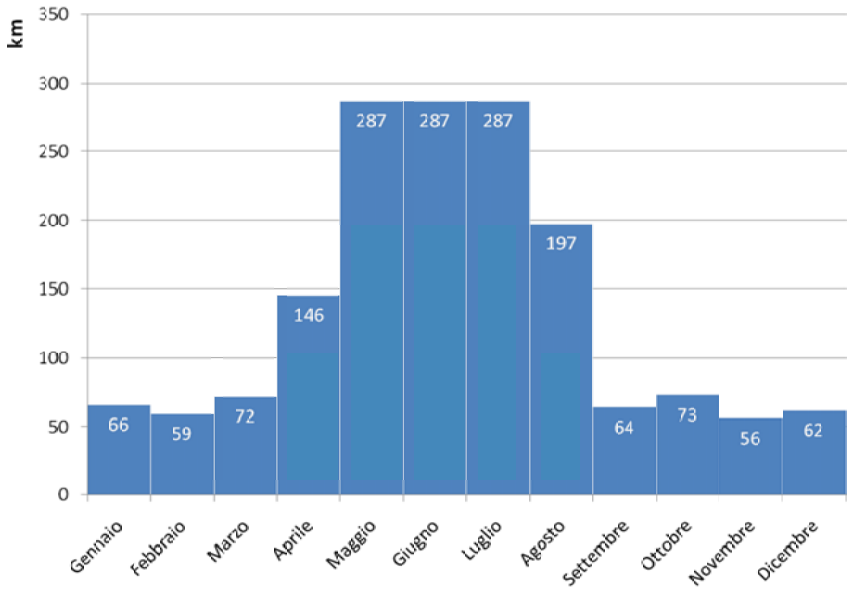
Il test di KS applicato su tutti mesi dell'anno conferma la mancanza di asimmetria della distribuzione dei valori e quindi al fine di ottenere le varianze di stima come intervalli di confidenza, le 12 variabili che compongono il *dataset*, rappresentanti i 12 mesi dell'anno solare, sono state sottoposte alla trasformazione "*normal score transformation*" tramite la quale i valori di origine sono stati rimappati in una distribuzione gaussiana avente media nulla e varianza unitaria, ossia N(0,1). È stata altresì applicata ai dati di origine, una metodologia di *declustering* per attenuare l'effetto della struttura preferenziale propria della rete di monitoraggio al fine di poter utilizzare i consueti indici statistici durante l'analisi dei dati.

6.3.2 Variografia

Dopo aver sottoposto i dati alle trasformazioni suddette si è proceduto con l'analisi strutturale, condotta attraverso il *software* Arcmap ©ESRI tramite il *tool "geostatistical wizard"* contenuto all'interno del modulo *geostatistical analyst*. Il modello che si è sistematicamente meglio adattato alle 12 variabili studiate è lo sferico. Il parametro range, che è uno degli elementi caratterizzanti il modello del variogramma poiché indica la distanza oltre la quale la correlazione spaziale dei dati svanisce, ha un andamento che si potrebbe definire di tipo stagionale mostrando una tendenza costante a crescere nei mesi primaverili/estivi ed a decrescere in quelli autunnali/invernali raggiungendo il minimo a novembre.

Un tale comportamento del *range* mostrerebbe un andamento delle piogge più variabile nei mesi freddi e meno variabile in senso spaziale nei mesi caldi dovuto probabilmente ad una scarsa piovosità generalizzata.

Figura 6.26: Andamento dei range dei variogrammi delle piogge nei 12 mesi.



La performance dei modelli di variogramma applicati alla stima sono generalmente ottime generando buoni valori degli indicatori di corrispondenza con il reale comportamento spaziale dei dati nell'ambito della cross-validazione. In sintesi, come mostra la prima colonna della tabella successiva, i mesi in cui i risultati risultano migliori sono giugno e ottobre, con un'adeguatezza del modello intorno al 90%, mentre i peggiori sono marzo e agosto per i quali il modello mostra un'adeguatezza, comunque discreta, intorno al 70%.

Tabella 6.35: Riepilogo dei parametri di cross-validazione (* media degli errori standardizzati; ** deviazione standard degli errori standardizzati; * valori osservati vs. valori stimati)**

Mese	Coeff. di correlazione***	Errore di sistematicità*	Congruenza varianza di stima**
GENNAIO	0.74	0.03	0.89
FEBBRAIO	0.73	0.02	0.89
MARZO	0.72	0.02	0.91
APRILE	0.86	0.06	0.76
MAGGIO	0.87	0.03	0.97
GIUGNO	0.90	0.05	1.11
LUGLIO	0.80	0.03	0.88
AGOSTO	0.69	0.00	0.95
SETTEMBRE	0.80	0.00	0.93
OTTOBRE	0.89	0.03	0.77
NOVEMBRE	0.84	0.03	0.81
DICEMBRE	0.74	0.04	0.85

Nel seguito sono riportati i variogrammi sperimentali e teorici con i parametri caratteristici di ciascun modello relativi a ciascun mese studiato *modello(nugget, sill, range in metri)*, corredati da tabelle riassuntive contenenti parametri di cross-validazione utili a determinare l'adeguatezza del modello al comportamento spaziale osservato mese per mese.

In particolare nella prima tabella si riportano l'errore di sistematicità, l'indicatore di congruenza della varianza di stima all'errore ed il coefficiente di correlazione tra i valori osservati e quelli stimati. In breve una buona corrispondenza del modello al variogramma sperimentale dovrebbe produrre un valore dell'errore di sistematicità (media della distribuzione degli errori standardizzati) prossimo a 0, dell'indice di congruenza della varianza di stima all'errore (deviazione standard della distribuzione degli errori standardizzati) prossimo ad 1 ed infine un valore del coefficiente di correlazione tra valori osservati e stimati prossimo ad 1 (nel caso in cui questo parametro è 1 le stime ricalcano perfettamente i valori osservati).

Con riferimento alle tabelle riportate nel seguito per ogni mese contenenti le statistiche principali degli errori assoluti di stima, ed in particolare alle righe riportanti l'errore massimo (sovrastima) e minimo (sottostima) di stima, si evidenzia la presenza di valori particolarmente discosti rispetto ai corrispondenti valori osservati. Approfondendo la questione, attraverso l'analisi delle peggiori sotto-sovrastime derivanti dalle elaborazioni descritte, risulta che in alcune stazioni dell'intera rete di monitoraggio considerata, la stima è sistematicamente affetta da errore elevato. In tabella 6.36 sono riportate le frequenze con cui, alcune stazioni sono affette da tale errore; come evidente in tabella 6.36 tali stazioni sono perlopiù geograficamente collocate nel subappennino Dauno e nella parte settentrionale del Gargano. L'elevata frequenza con cui tali stazioni discostano in modo significativo dalla stima effettuata con il kriging, suggerisce una particolarità spaziale caratterizzante le

aree in cui le stazioni ricadono, dovuta, probabilmente ad un effetto combinato di orografia ed esposizione. Non è un caso che la stazione più spesso significativamente sottostimata e quella più spesso significativamente sovrastimata siano Bosco Umbra e Vieste che, distano in piano pochi chilometri ma che sono caratterizzate da regimi pluviometrici diametralmente opposti.

Tabella 6.36: Ricorrenza delle peggiori sovrastime/sottostime per stazione.

Sottostime			Sovrastime		
Stazione	n.ro mesi	%	Stazione	n.ro mesi	%
Bosco Umbra	12	100.0	Vieste	11	91.7
Lagopesole	7	58.3	Manfredonia	11	91.7
Pietramontecorvino AQP	7	58.3	Vieste	11	91.7
San Marco in Lamis	7	58.3	Atella	8	66.7
			Calitri	7	58.3

Gennaio

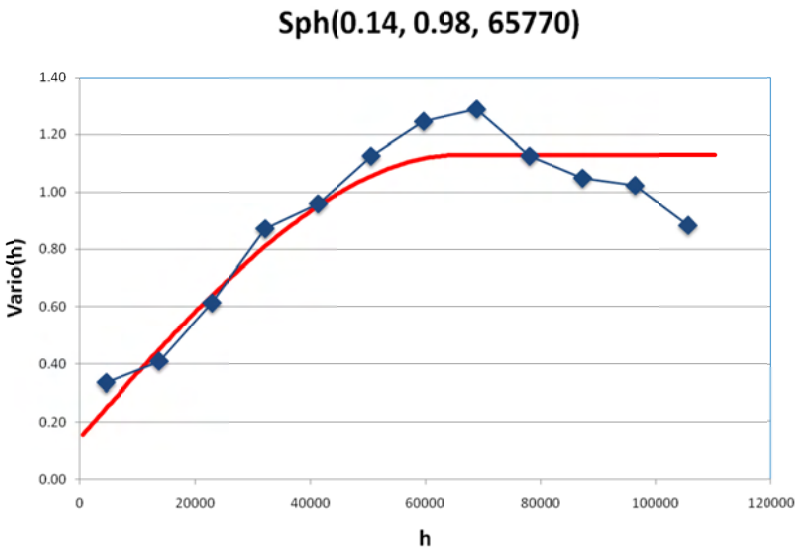
Errore di sistematicità*	0.03
Congruenza varianza di stima**	0.89
Coeff. di correlazione***	0.74

* media degli errori standardizzati
** deviazione standard degli errori standardizzati
*** valori osservati vs. valori stimati

	z	z*kri	z-z*kri(1)
min	37.79	42.72	-43.76
max	119.35	92.08	30.41
media	64.75	65.01	0.26
dev.std	15.00	11.21	10.08

(1) Statistiche principali degli errori assoluti di stima

Figura 6.27: Variogrammi sperimentale e teorico delle Piogge totali di gennaio



Febbraio

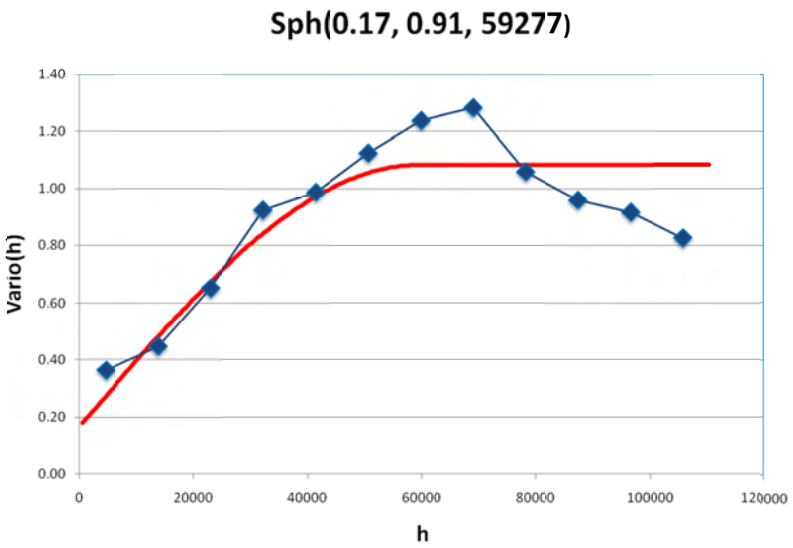
Errore di sistematicità*	0.02
Congruenza varianza di stima**	0.89
Coeff. di correlazione***	0.73

* media degli errori standardizzati
** deviazione standard degli errori standardizzati
*** valori osservati vs. valori stimati

	z	z*kri	z-z*kri(1)
min	29.94	35.96	-34.78
max	95.53	83.81	22.92
media	55.79	55.90	0.12
dev.std	12.92	9.19	8.79

(1) Statistiche principali degli errori assoluti di stima

Figura 6.28: Variogrammi sperimentale e teorico delle Piogge totali di febbraio



Marzo

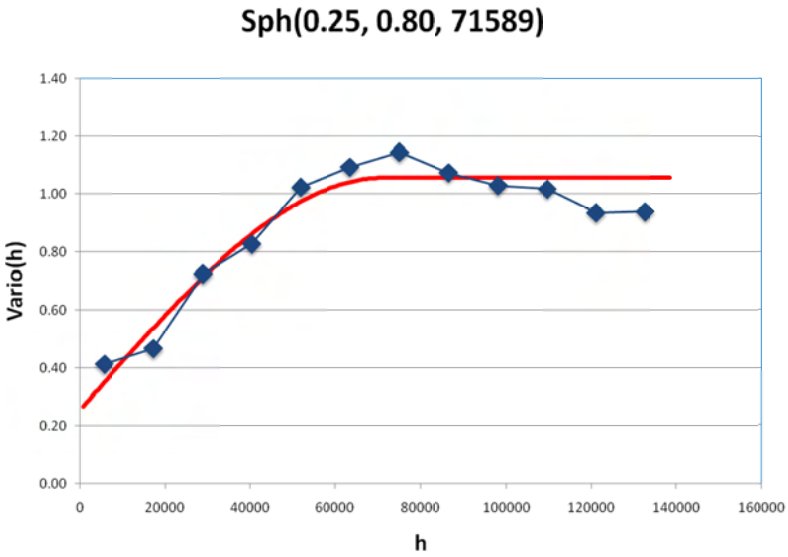
Errore di sistematicità*	0.02
Congruenza varianza di stima**	0.91
Coeff. di correlazione***	0.72

* media degli errori standardizzati
** deviazione standard degli errori standardizzati
*** valori osservati vs. valori stimati

	z	z*kri	z-z*kri(1)
min	33.47	39.03	-36.37
max	92.95	75.78	24.90
media	55.75	55.96	0.21
dev.std	12.02	8.22	8.40

(1) Statistiche principali degli errori assoluti di stima

Figura 6.29: Variogrammi sperimentale e teorico delle Piogge totali di marzo



Aprile

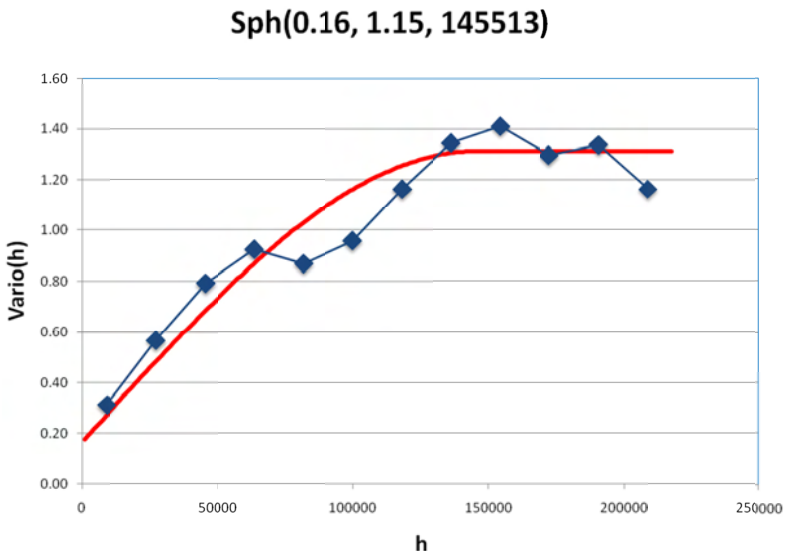
Errore di sistematicità*	0.06
Congruenza varianza di stima**	0.76
Coeff. di correlazione***	0.86

* media degli errori standardizzati
** deviazione standard degli errori standardizzati
*** valori osservati vs. valori stimati

	z	z*kri	z-z*kri(1)
min	32.28	35.35	-38.07
max	101.72	91.74	28.09
media	53.63	53.98	0.35
dev.std	16.38	13.49	8.50

(1) Statistiche principali degli errori assoluti di stima

Figura 6.30: Variogrammi sperimentale e teorico delle Piogge totali di aprile



Maggio

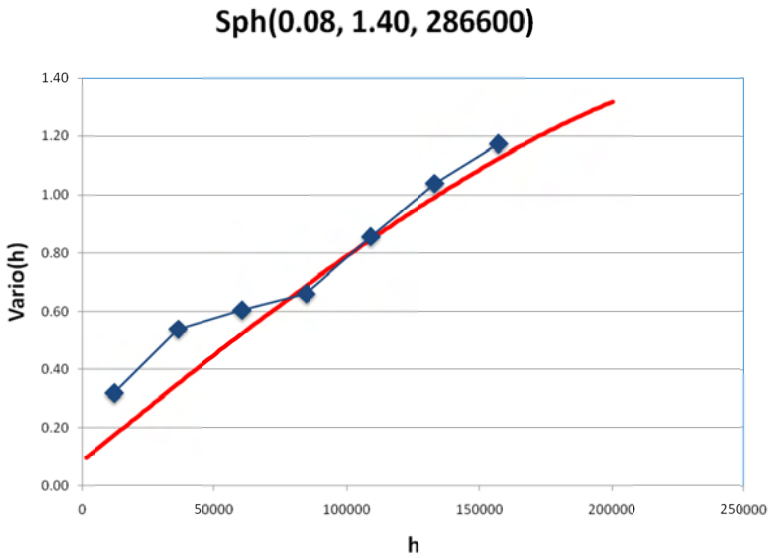
Errore di sistematicità*	0.03
Congruenza varianza di stima**	0.97
Coeff. di correlazione***	0.87

* media degli errori standardizzati
** deviazione standard degli errori standardizzati
*** valori osservati vs. valori stimati

	z	z*kri	z-z*kri(1)
min	20.86	25.42	-25.32
max	73.75	62.70	23.38
media	40.55	40.71	0.16
dev.std	10.75	9.34	5.33

(1) Statistiche principali degli errori assoluti di stima

Figura 6.31: Variogrammi sperimentale e teorico delle Piogge totali di maggio



Giugno

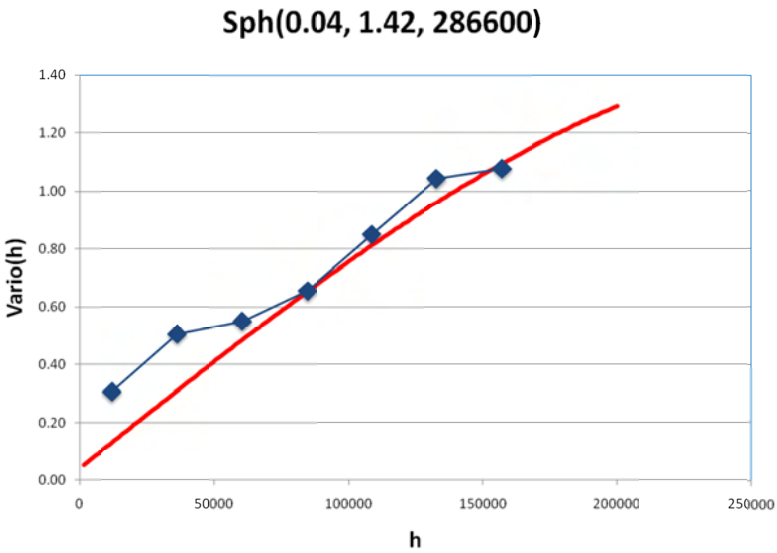
Errore di sistematicità*	0.05
Congruenza varianza di stima**	1.11
Coeff. di correlazione***	0.90

* media degli errori standardizzati
** deviazione standard degli errori standardizzati
*** valori osservati vs. valori stimati

	z	z*kri	z-z*kri(1)
min	9.35	13.58	-17.40
max	58.73	48.82	14.97
media	32.12	32.36	0.24
dev.std	10.64	9.82	4.53

(1) Statistiche principali degli errori assoluti di stima

Figura 6.32: Variogrammi sperimentale e teorico delle Piogge totali di giugno



Luglio

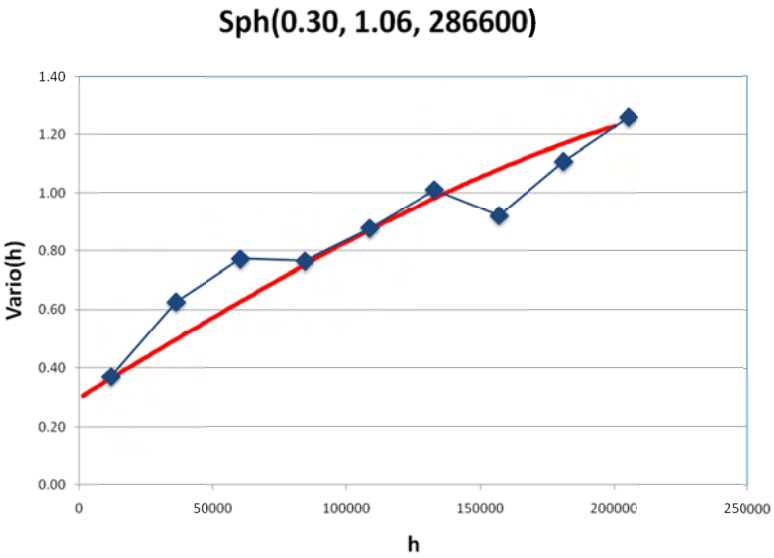
Errore di sistematicità*	0.03
Congruenza varianza di stima**	0.88
Coeff. di correlazione***	0.80

* media degli errori standardizzati
** deviazione standard degli errori standardizzati
*** valori osservati vs. valori stimati

	z	z*kri	z-z*kri(1)
min	8.99	15.29	-21.59
max	50.55	37.28	10.53
media	25.39	25.49	0.10
dev.std	7.49	5.50	4.53

(1) Statistiche principali degli errori assoluti di stima

Figura 6.33: Variogrammi sperimentale e teorico delle Piogge totali di luglio



Agosto

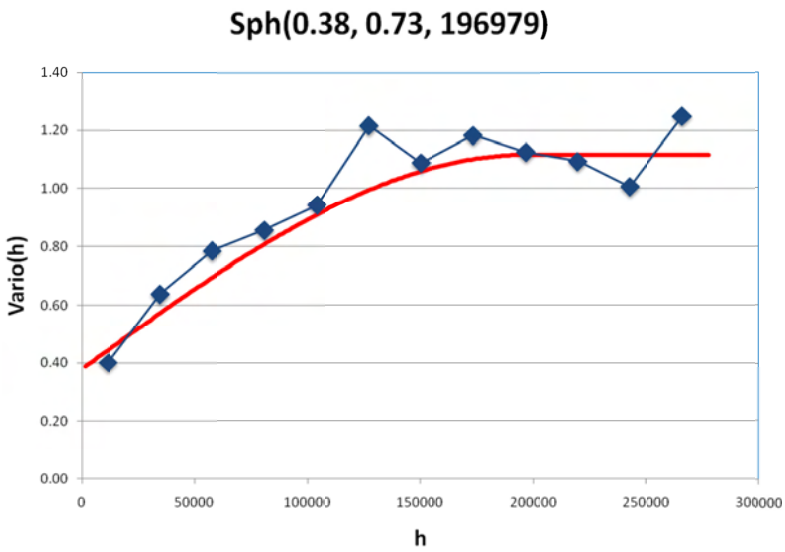
Errore di sistematicità*	0.00
Congruenza varianza di stima**	0.95
Coeff. di correlazione***	0.69

* media degli errori standardizzati
** deviazione standard degli errori standardizzati
*** valori osservati vs. valori stimati

	z	z*kri	z-z*kri(1)
min	18.06	24.67	-24.90
max	58.33	42.13	11.95
media	31.35	31.33	-0.02
dev.std	7.04	4.50	5.12

(1) Statistiche principali degli errori assoluti di stima

Figura 6.34: Variogrammi sperimentale e teorico delle Piogge totali di agosto



Settembre

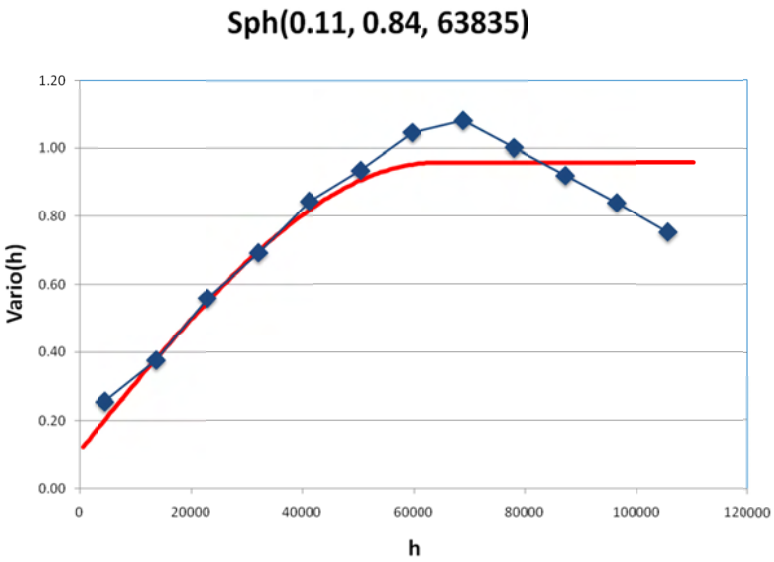
Errore di sistematicità*	0.00
Congruenza varianza di stima**	0.93
Coeff. di correlazione***	0.80

* media degli errori standardizzati
** deviazione standard degli errori standardizzati
*** valori osservati vs. valori stimati

	z	z*kri	z-z*kri(1)
min	30.01	36.47	-26.17
max	89.83	77.02	15.85
media	48.41	48.41	0.00
dev.std	11.24	8.57	6.77

(1) Statistiche principali degli errori assoluti di stima

Figura 6.35: Variogrammi sperimentale e teorico delle Piogge totali di settembre



Ottobre

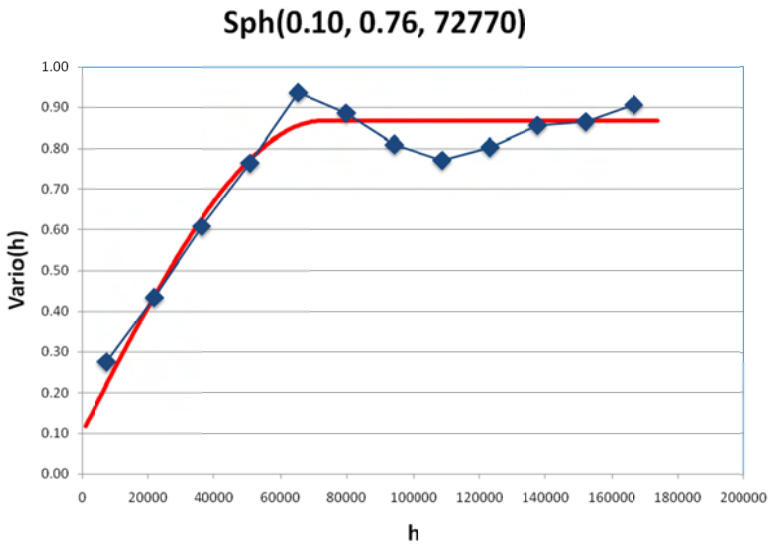
Errore di sistematicità*	0.03
Congruenza varianza di stima**	0.77
Coeff. di correlazione***	0.89

* media degli errori standardizzati
** deviazione standard degli errori standardizzati
*** valori osservati vs. valori stimati

	z	z*kri	z-z*kri(1)
min	36.98	40.96	-18.26
max	115.28	107.12	25.43
media	66.65	66.97	0.32
dev.std	17.15	14.79	7.72

(1) Statistiche principali degli errori assoluti di stima

Figura 6.36: Variogrammi sperimentale e teorico delle Piogge totali di ottobre



Novembre

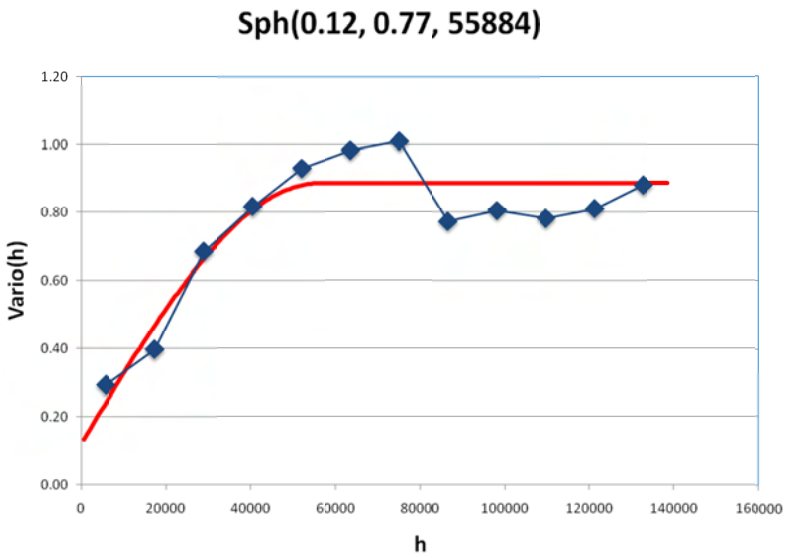
Errore di sistematicità*	0.03
Congruenza varianza di stima**	0.81
Coeff. di correlazione***	0.84

* media degli errori standardizzati
** deviazione standard degli errori standardizzati
*** valori osservati vs. valori stimati

	z	z*kri	z-z*kri(1)
min	54.41	56.86	-40.29
max	150.71	132.05	37.80
media	87.44	87.55	0.11
dev.std	21.45	16.95	11.81

(1) Statistiche principali degli errori assoluti di stima

Figura 6.37: Variogrammi sperimentale e teorico delle Piogge totali di novembre



Dicembre

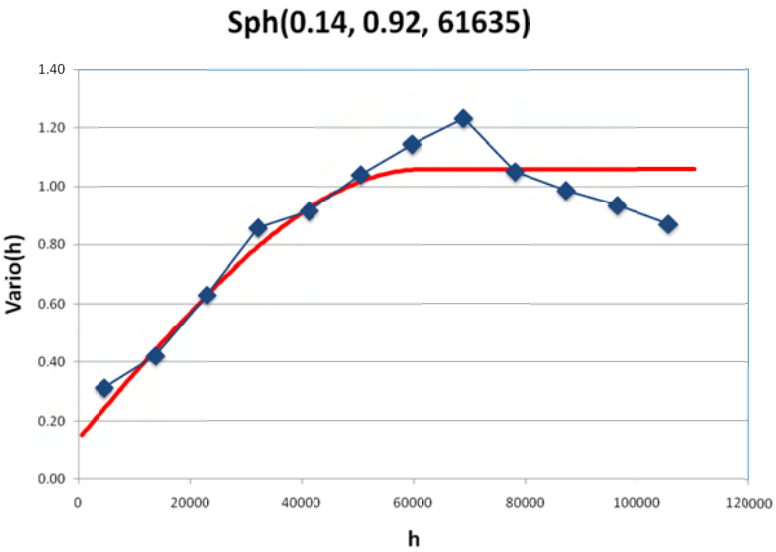
Errore di sistematicità*	0.04
Congruenza varianza di stima**	0.85
Coeff. di correlazione***	0.74

* media degli errori standardizzati
** deviazione standard degli errori standardizzati
*** valori osservati vs. valori stimati

	z	z*kri	z-z*kri(1)
min	44.53	52.06	-53.07
max	147.77	118.60	45.10
media	77.76	78.15	0.40
dev.std	18.96	14.31	12.73

(1) Statistiche principali degli errori assoluti di stima

Figura 6.38: Variogrammi sperimentale e teorico delle Piogge totali di dicembre



6.4 La produzione di mappe climatiche

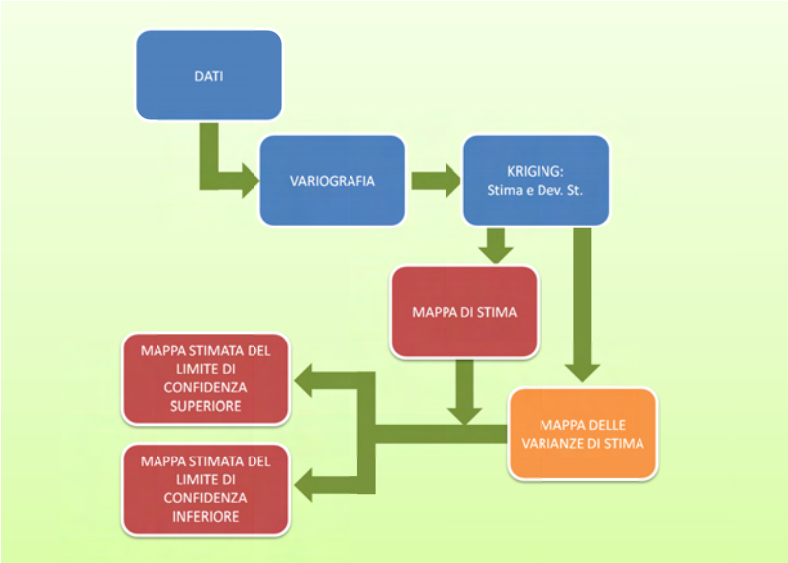
Le procedure di analisi geostatistica dei dati termo-pluviometrici descritte nei capitoli precedenti sono state condotte sulla serie multitemporale dal 1976 al 2005 delle rilevazioni compiute dalle singole stazioni. Grazie all'utilizzo di un GIS è stato possibile effettuare procedure di interpolazione spaziale basate su kriging, consentendo di ottenere delle mappe della distribuzione dei parametri di temperatura e di piovosità, che verranno descritte nei dettagli nei paragrafi successivi.

È opportuno qui definire le caratteristiche comuni a tutte le mappe calcolate, prima fra tutte la metodologia secondo la quale esse sono state ottenute. Richiamando le fasi dell'analisi geostatistica precedentemente descritte al par. 3.1, i parametri necessari per eseguire l'interpolazione spaziale mediante kriging sono quelli del variogramma sperimentale, ovvero il suo modello (sferico, lineare, gaussiano, ecc.), range, sill e nugget. Sia per le mappe di temperatura (minima e massima) che per la piovosità, detti parametri sono stati definiti per ogni mese dell'anno.

I risultati del kriging sono costituiti da una prima mappa che rappresenta la stima della variabile in esame e una seconda che ne rappresenta la varianza di stima. Le due mappe vengono poi opportunamente rielaborate in maniera differente per le temperature e la piovosità, con lo scopo di ottenere una mappa del valore medio della variabile esaminata e due ulteriori mappe che rappresentano i limiti dell'intervallo di confidenza al 95% (superiore e inferiore) della stima.

Altra caratteristica comune a tutte le mappe è la risoluzione spaziale di 1 km per 1 km di lato delle singole celle.

Fig. 6.39 – Workflow interpolazione spaziale mediante kriging.



Come esplicitato nel precedente Cap. 6.2 le temperature (massime e minime) sono legate all'altitudine secondo una relazione lineare di inversa proporzionalità: all'aumentare della quota sul livello del mare (h (s.l.m.)) la temperatura diminuisce. L'interpolazione mediante kriging è stata applicata ai residui, ovvero alla variazione delle temperature rimanente sottraendo la relazione lineare dell'elevazione, il cui coefficiente di correlazione varia in funzione del mese.

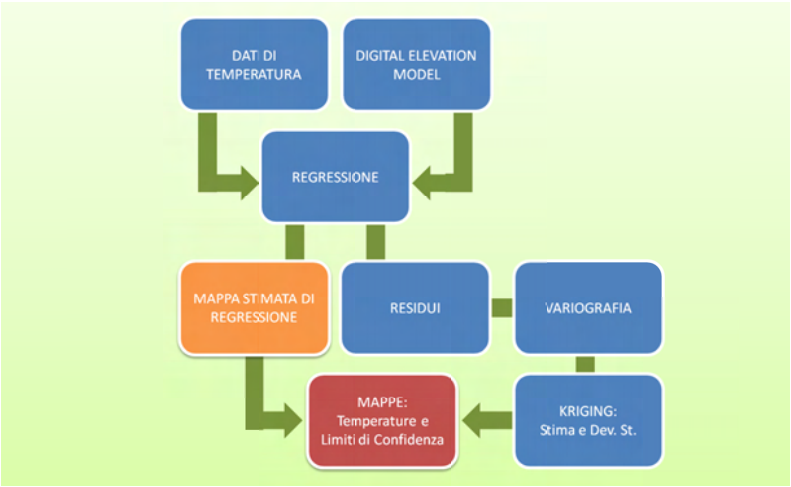
A seguito dell'analisi strutturale dei residui mensili si è pervenuti alla definizione dei coefficienti che fanno parte della regressione lineare per la stima delle temperature:

$$T = a + b \cdot h(s.l.m.)$$

con h (s.l.m.) rappresentato spazialmente dal modello digitale dell'elevazione (DEM). Sulla base di essa sono state quindi calcolate le mappe mensili del fattore dovuto all'altitudine, che contribuirà assieme ai residui alla stima delle temperature, sia massime che minime.

In Figura 6.40 si riporta uno schema della procedura seguita per realizzare le mappe di temperatura. In particolare i dati di temperatura e le quote del terreno nei punti di misura concorrono a definire un modello regressivo in grado di spiegare la temperatura in termini della variabile altimetrica (*kriging con regressione* – cfr. par.3.1.3). In tal modo, secondo la teoria del *kriging con regressione*, si può separare la stima del *drift*, operata per mezzo della regressione, e quella dei residui mediante il *kriging ordinario*. Quest'ultimo metodo consente anche di calcolare le deviazioni standard relative ad ogni valore stimato. Eseguendo, con strumenti GIS, la somma dei valori determinati con i due metodi, si perviene alla mappa finale delle stime dei valori di temperatura. Infine, sommando e sottraendo opportunamente la mappa delle deviazioni standard da quella delle stime si ottengono le mappe dei limiti di confidenza della stima che consentono di effettuare valutazioni relative all'incertezza della stima stessa.

Fig. 6.40 – Workflow di produzione delle mappe mensili di temperatura.



Per ogni mese sono state dunque prodotte un totale di 6 mappe:

1. Limiti superiori dei valori minimi di temperatura
2. Limiti inferiori dei valori minimi di temperatura
3. Media dei valori minimi di temperatura
4. Limiti superiori dei valori massimi di temperatura
5. Limiti inferiori dei valori massimi di temperatura
6. Media dei valori massimi di temperatura

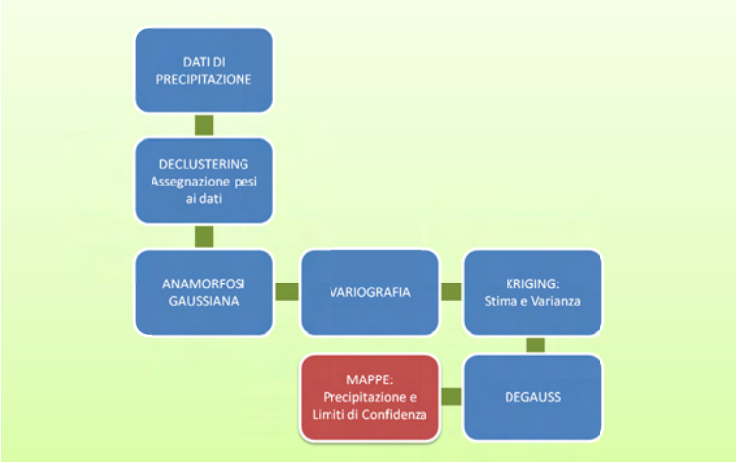
Al fine di rendere confrontabili le mappe mese per mese, i valori di temperatura sono stati classificati con livelli cromatici di 1,5 °C.

Diversamente dalle temperature, la piovosità non sembra avere una diretta relazione con l'altitudine, pur riconoscendo una certa dipendenza della distribuzione delle precipitazioni dall'orografia e dalla distanza dalla linea di costa, come del resto ampiamente descritto nel precedente par. 6.3. È notorio infatti come l'esposizione dei versanti, l'andamento della superficie topografica in riferimento ai flussi di aria nella bassa atmosfera e la vicinanza al mare, siano tra gli elementi che maggiormente condizionano gli eventi meteorici. Riconoscere e modellizzare tali correlazioni esula comunque dagli scopi del presente lavoro.

L'analisi strutturale geostatistica (vedere par. 6.4.4) ha definito i variogrammi e i relativi modelli e parametri di nugget, sill e range per ciascuno dei 12 mesi. Sulla loro base si è proceduto, analogamente a quanto fatto con le temperature, con l'interpolazione mediante kriging. A differenza delle temperature, l'interpolazione è stata eseguita direttamente sui valori medi della piovosità riferiti a ciascuna stazione di monitoraggio.

In fig. 6.41 si riporta uno schema della procedura seguita per realizzare le mappe di precipitazione. Una prima valutazione della disposizione dei punti di misura nello spazio, ha mostrato una tendenza al raggruppamento di tali punti in determinate aree. Questa caratteristica può produrre una distorsione nelle stime se non opportunamente corretta. A tal fine i dati sono stati sottoposti ad un trattamento preliminare di *de-clusterizzazione* (cfr. par. 3.2).

Fig. 6.41 – Workflow di produzione delle mappe mensili di piovosità.



Inoltre, a differenza delle temperature, i dati di pioggia, durante l'analisi statistica preliminare, hanno mostrato un trascurabile livello di correlazione con le variabili geografiche, ma una forte asimmetria destra delle distribuzioni empiriche. Queste evidenze hanno portato ad effettuare le stime con il metodo del *kriging ordinario* a valle di una pre-elaborazione dei dati mirante a rendere le distribuzioni gaussiane (*anamorfosi gaussiana* – cfr. par. 3.2). Gli strumenti GIS utilizzati per la stima hanno consentito di effettuare l'intera fase di pre-elaborazione dei dati (*de-clusterizzazione* e *anamorfosi gaussiana*) e quella di post-processamento dei risultati necessario per riportare il set delle stime alla distribuzione originaria dei dati (*back-transformation*)

Il set di dati, così predisposto è stato utilizzato per le stime con il metodo del *kriging ordinario* che ha prodotto, analogamente al caso delle temperature, una mappa di stima ed una delle deviazioni standard relative ad ogni valore stimato. Infine, sommando e sottraendo opportunamente la mappa delle deviazioni standard da quella delle stime si ottengono, anche in questo caso, le mappe dei limiti di confidenza della stima che, consentono di effettuare valutazioni relative all'incertezza della stima stessa.

Per ogni mese sono state dunque prodotte un totale di 3 mappe:

1. Limiti superiori dei valori di piovosità
2. Limiti inferiori dei valori di piovosità
3. Media dei valori di piovosità

Al fine di rendere confrontabili le mappe mese per mese, i valori di piovosità sono stati classificati con livelli cromatici di 5 mm.

7. ANALISI DELLE MAPPE

Il clima della Puglia è definito dalla media delle varie condizioni meteorologiche che interessano la regione nel corso delle stagioni. Le condizioni meteorologiche sono legate alla posizione in latitudine (distanza dall'Equatore) e dalle caratteristiche geografiche della Puglia. Nel complesso il clima pugliese nella classificazione più comune è definito mesotermico, cioè senza eccessi termici nelle varie stagioni, con cumulati di precipitazione più consistenti nel periodo autunno-inverno e con periodi siccitosi nel periodo estivo. Queste caratteristiche per grandi linee si riscontrano anche in altri Paesi che si affacciano sul Mar Mediterraneo e per questo il clima pugliese può essere definito di tipo mediterraneo.

La Puglia, data la sua posizione latitudinale (estesa tra Lat. 39° 48' N e Lat. 41° 53' N), può considerarsi compresa nella fascia delle medie latitudini. Secondo lo schema della circolazione generale dell'atmosfera il bacino del Mediterraneo, e quindi la Puglia, rientra nel settore delle correnti atmosferiche occidentali (provenienti da ovest) definite westerlies che influenzano notevolmente il succedersi delle condizioni atmosferiche nel corso dell'anno.

Per grandi linee possiamo dire che la circolazione media in area mediterranea è legata a due principali centri barici: la depressione d'Islanda e l'anticiclone delle Azzorre. Nel semestre freddo autunno-invernale è la depressione d'Islanda che genera i principali sistemi perturbati i quali, veicolati prevalentemente dalle correnti occidentali, giungono alle nostre latitudini. In molti casi le perturbazioni arrivate in Mediterraneo, essendo quest'ultimo più caldo dell'Oceano Atlantico ed a causa della complessa orografia delle terre emerse che lo delimitano, favoriscono delle ciclogenesi

(formazione di cicloni extratropicali comunemente chiamate depressioni) secondarie di origine afro – mediterranea con conseguente formazione di perturbazioni. Spesso la frontogenesi (formazione di perturbazioni) in Mediterraneo è responsabile dei maggiori cumulati di precipitazione che si riscontrano nel periodo Ottobre-Marzo oltre che della maggior parte delle situazioni di marcato maltempo che interessano la Puglia nel corso dell'anno.

Nel periodo tardo primaverile ed estivo la depressione d'Islanda tende a indebolirsi e spostarsi verso nord. Per tale ragione anche il flusso perturbato atlantico tende a migrare verso le alte latitudini europee lasciando il Mediterraneo e la Puglia sotto l'influenza dell'anticiclone delle Azzorre responsabile delle condizioni di stabilità atmosferica con periodi siccitosi che su vaste aree del territorio regionale possono durare alcuni mesi. Data l'origine atlantica dell'anticiclone delle Azzorre le temperature medie che caratterizzano la regione nel periodo estivo non sono eccessivamente elevate.

7.1 Caratterizzazione meteorologica stagionale

Nel seguito sono esposte brevi considerazioni sulle principali situazioni meteorologiche che hanno interessato la Puglia nel periodo temporale che va dal 1976 al 2005 e che hanno influenzato notevolmente il campo termico e pluviometrico sul territorio regionale. Per questo tipo di analisi si considereranno le mappe dei cumulati di precipitazione media, delle temperature minime e massime medie e le relative mappe di stima dell'errore massimo e minimo delle temperature e precipitazioni.

INVERNO (mappe di Dicembre, Gennaio e Febbraio)

a) ANALISI DELLE TEMPERATURE

L'analisi delle tre mappe riferite al periodo invernale delle temperature medie massime evidenzia una distribuzione dei valori più alti sulle aree pianeggianti del territorio pugliese, prossime alla linea di costa nel mese di Dicembre, ma con una lieve estensione verso le aree collinari nel mese di Febbraio. Da notare come le isoterme seguano l'andamento delle isoipse (linee che congiungono punti alla stessa quota sul livello medio del mare) che rappresentano in maniera indiretta il legame tra distribuzione delle temperature ed elevazione del territorio.

L'analisi delle temperature medie minime dello stesso trimestre mostra anch'essa un forte legame lineare con l'elevazione, salvo locali prolungamenti delle isoterme con valori termici più bassi verso quote meno elevate in prossimità della foce dell'Ofanto e del Golfo di Manfredonia. I mesi di Gennaio e Febbraio sono molto simili nella distribuzione dei valori di temperatura media minima riscontrando, inoltre, un'area omogenea nei valori medi sulla Puglia meridionale.

b) ANALISI DELLA PIOVOSITA'

La distribuzione delle precipitazioni è influenzata dalle traiettorie prevalenti seguite dalle perturbazioni i cui effetti sono esaltati dall'orografia. In questo periodo dell'anno è presente frequentemente tra il Mar Tirreno meridionale e il Mar Jonio settentrionale un'area di bassa pressione mentre un anticiclone di natura termica staziona sull'Europa balcanica e rallenta il movimento delle perturbazioni verso est. Le perturbazioni quindi tendono a ruotare intorno alla depressione in senso antiorario.

Dall'analisi delle mappe di precipitazione si evidenzia come questa distribuzione si conservi durante tutti i mesi invernali. Complice l'orografia della Puglia, i massimi nuclei di accumulo si localizzano sul settore nord ed interno del massiccio del Gargano, sul Subappennino Dauno e Salento meridionale. Le correnti settentrionali che accompagnano le perturbazioni a carattere freddo o occluso favoriscono un sollevamento forzato di massa d'aria umida lungo il versante nord del Gargano determinando maggiori e frequenti precipitazioni con media mensile variabile tra 75 – 110 millimetri (mm). Sul Subappennino Dauno accumuli in costante aumento si hanno andando dalla pianura alle quote più elevate assumendo valori medi mensili di 70-95 mm. Questo gradiente pluviometrico è dovuto sia al sollevamento forzato della massa d'aria umida, quando ci sono correnti da nordest, ma anche a perturbazioni provenienti da ovest che apportano precipitazioni sul settore appenninico campano raggiungendo le quote più alte del Subappennino Dauno. L'apporto delle precipitazioni nevose sul cumulato invernale anche sulle zone più alte del Gargano, Subappennino Dauno e Alta Murgia è nel complesso modesto a causa della non elevata altitudine. Altra area con accumuli più elevati è la zona meridionale del Salento con valori medi mensili oscillanti tra 65-90 mm. In questo caso le perturbazioni provenienti da ovest o da sud-ovest, superato l'Appennino meridionale, riescono ad incrementare nuovamente il loro contenuto di vapor acqueo e di energia perso sul settore tirrenico favorendo nuove precipitazioni. Gli accumuli più abbondanti sono localizzati sul settore meridionale del Salento con precipitazioni spesso a carattere di rovescio temporalesco. Altra zona con accumuli elevati è l'area adriatica tra sud barese e nord brindisino spesso legate al posizionamento di perturbazioni a carattere freddo ed alle correnti nordorientali che favoriscono un sollevamento forzato di masse d'aria particolarmente umide favorendo precipitazioni lungo il ripido versante sudorientale della Murgia, con cumulati medi mensili di 70-90 mm.

Le mappe mensili confermano che le zone meno piovose sono la capitanata e il nord barese, zone riparate dalle correnti umide occidentali dall'Appennino, mentre per le perturbazioni provenienti da nord sono riparate dal Gargano; generalmente i cumulati mensili medi si attestano nel periodo invernale tra i 40 ed i 55 mm. Analoga considerazione può essere fatta per l'arco jonico tarantino in quanto parzialmente riparato dalla Murgia dalle correnti umide provenienti da nord e dall'Appennino per le correnti perturbate occidentali.

Considerando il grafico dei Boxplots (Fig. 6.25) degli istogrammi delle precipitazioni cumulate si riscontra nei mesi invernali una notevole ampiezza tra il 1° ed il 3° quartile indicante una notevole variabilità annuale dei quantitativi di pioggia specie nei mesi di Dicembre e Gennaio. Anche la deviazione standard per i mesi invernali (Tab. 6.33) è elevata per i mesi di Dicembre e Gennaio e più bassa per Febbraio. Valori alti della deviazione standard indicano una notevole variabilità interannuale dei quantitativi di precipitazioni. La stagione invernale, insieme all'autunno, è la più piovosa; quindi eventuali invernate con valori dei cumulati sopramedia o sottomedia hanno un peso notevole nel computo totale dell'anno che quindi potrebbe risultare abbondantemente piovoso o particolarmente asciutto.

PRIMAVERA (mappe di Marzo, Aprile e Maggio)

a) ANALISI DELLE TEMPERATURE

Dalle mappe del mese di Maggio, si nota che la presenza sempre più frequente dell'Anticiclone delle Azzorre sul Mar Mediterraneo, garante di un maggiore soleggiamento effettivo sul territorio pugliese con valori di circa 14 ore e 30 minuti, hanno definito i valori termici medi sulla Puglia riscaldando maggiormente le aree interne rispetto alle aree costiere. Questa particolare distribuzione è da attribuire alla presenza del mare che, a causa della propria temperatura più bassa rispetto alla terraferma e della propria inerzia termica (il calore specifico dell'acqua è più elevato della terra), si riscalda più lentamente condizionando l'andamento delle temperature lungo la linea di costa.

L'analisi delle temperature medie massime del trimestre primaverile registra una sempre più bassa correlazione fra le temperature massime e l'altezza sul livello medio del mare. Al graduale aumento termico nel corso del trimestre, le isoterme non seguono esclusivamente l'andamento delle isoipse, ma sono influenzate da flussi nei bassi strati dell'atmosfera provenienti, sempre con maggiore frequenza, dai quadranti settentrionali i quali causano un minore aumento delle temperature in prossimità della linea di costa del versante adriatico rispetto alla parte restante del territorio pugliese.

L'analisi delle mappe primaverili riferite alle temperature medie minime mostra un valore poco rilevante del coefficiente di correlazione fra le temperature minime e l'esposizione, mentre si registra un forte legame con l'elevazione. I valori termici nel trimestre in esame sono dipendenti anche dalla configurazione e dalla direzione di costa registrando valori più alti localmente lungo il litorale della penisola salentina e in prossimità del Golfo di Manfredonia. Tale discontinuità è da attribuire all'effetto brezza di terra che muove masse d'aria più fredde da aree collinari e montuose verso valle raggiungendo così il litorale della Capitanata, Ofanto e BAT.

b) ANALISI DELLA PIOVOSITA'

Nei mesi primaverili (Marzo-Aprile-Maggio) si evidenzia una progressiva diminuzione dei quantitativi ed una diversa distribuzione delle precipitazioni rispetto al periodo invernale.

Nel mese di Marzo è ancora alta la frequenza delle perturbazioni provenienti dai quadranti settentrionali (nord-nordovest). Le perturbazioni interagendo con l'orografia regionale, fanno sì che le zone più piovose siano le aree interne e del versante settentrionale del Gargano (media mensile 55-75 mm) e le zone più alte del Subappennino Dauno (media 55-70mm). Altre zone con concentrazione maggiore di precipitazioni sono il Salento meridionale e le aree interne della Murgia coincidenti grossomodo con la Valle d'Itria. Questo polo pluviometrico è favorito per la ricorrente formazione di depressioni tra Tirreno meridionale e Jonio settentrionale che determinano lo scorrere delle perturbazioni da sud-sudovest verso nord-nordest interessando più direttamente la penisola salentina meridionale e per effetto orografico il settore meridionale della Murgia (media mensile 50-75 mm).

I minimi di precipitazione si riscontrano sempre sulla pianura foggiana e sul settore occidentale della provincia di Taranto zone che spesso vengono a trovarsi sottovento alle perturbazioni provenienti da ovest o da nord

e di conseguenza beneficiano di quantitativi più limitati (media mensile 35-45 mm).

Nel mese di Aprile le precipitazioni medie si distribuiscono in maniera simile ai mesi invernali, anche se nel complesso diminuiscono i quantitativi medi sulla regione. I massimi assoluti si concentrano ancora sulle zone più elevate del Subappennino (valore medio mensile 70-90 mm) esposto alle più frequenti perturbazioni provenienti da ovest. I quantitativi diminuiscono leggermente sul settore centrale e settentrionale del Gargano in quanto si riducono le avvezioni di aria fredda ed instabile da nord-nordovest che producono le precipitazioni più consistenti su quest'area (media mensile di 60-75 mm). Anche sul Salento si nota in Aprile una riduzione di precipitazione con i cumulati medi mensili di 50-60 mm. Se nel mese di Aprile il flusso perturbato persiste allora determina una distribuzione delle precipitazioni tipico del periodo invernale, come riscontrabile sulle mappe pluviometriche da Dicembre a Marzo. Al contrario nei casi in cui il flusso perturbato tende a migrare verso alte latitudini si ha una riduzione dei quantitativi di pioggia ed una distribuzione delle precipitazioni con gli accumuli più consistenti prevalentemente sulle aree interne e non più costiere, tipico del periodo meno piovoso tardo primaverile-estivo. La notevole variabilità interannuale del mese di Aprile la si comprende dal suo elevato valore di deviazione standard (Tab. 6.33) che ci sottolinea come le caratteristiche meteorologiche sono in rapida transizione tra una configurazione barica tipica del semestre freddo a quella del periodo primaverile ed estivo.

Nel mese di Maggio la distribuzione delle precipitazioni sul territorio pugliese è notevolmente diversa rispetto al periodo invernale. Questa localizzazione è caratterizzata da massimi di accumulo sulle zone più alte del Gargano (media mensile 45-65 mm), Subappennino Dauno (media mensile 40-55 mm) e zone dell'alta Murgia (media mensile 40-50 mm). I minimi di precipitazione si concentrano sul Salento, pianura foggiana, e zone costiere (25-35 mm). Tale distribuzione dei poli pluviometrici è dovuta a un ridotto contributo di piogge prodotte da perturbazioni atlantiche ma invece sono prevalentemente dovute a precipitazioni termoconvettive (si intendono le precipitazioni a carattere di rovescio temporalesco generalmente di breve durata ma alle volte intense concentrate prevalentemente nelle ore più calde della giornata ed a ridosso dei rilievi).

Questi fenomeni s'innescano principalmente per l'intenso riscaldamento del suolo e dei pendii dei rilievi e a causa della presenza di aria fredda e instabile in quota. Per tale ragione le precipitazioni termoconvettive si concentrano maggiormente sulle aree interne e più elevate del territorio regionale avendo un peso notevole sugli accumuli medi mensili di precipitazione.

Da evidenziare dall'analisi dei dati del variogramma (Fig. 6.26), rappresenta la correlazione spaziale tra i dati pluviometrici delle varie stazioni, un aumento del valore della distanza (Km) nel proseguire della stagione indice di una progressiva uniforme distribuzione dei quantitativi di precipitazione sul territorio regionale.

ESTATE (Mappe di Giugno, Luglio e Agosto)

a) ANALISI DELLE TEMPERATURE

L'analisi delle mappe estive riferite alle temperature medie massime evidenzia una distribuzione termica non dipendente all'elevazione e all'esposizione. Solamente i valori più alti del trimestre che si registrano prevalentemente in Capitanata e Arco Jonico danno maggiore credito al legame lineare con l'elevazione. Dal mese di Giugno e per i successivi due mesi, a causa di una ventilazione proveniente per la maggior parte dai quadranti settentrionali, i valori medi registrati lungo il litorale adriatico tendono a estendersi verso le aree interne rendendo quasi omogenee le temperature medie massime fra la Terra di Bari, l'Alta Murgia, Murgia Orientale e la Penisola Salentina del versante adriatico.

L'analisi delle mappe estive riferite alle temperature medie minime dei mesi di Giugno, Luglio e Agosto rimarca una distribuzione termica dipendente dall'elevazione. A differenza delle medie massime, le temperature medie minime registrano valori più alti in prossimità della linea di costa e all'interno della Capitanata e valori più bassi in montagna con differenze termiche tra queste aree che toccano i 7°C circa nel mese di Giugno e di Agosto e i 9°C nel mese di Luglio rispettando così il valore elevato del coefficiente di correlazione tra le temperature e l'altezza sul livello medio del mare.

b) ANALISI DELLA PIOVOSITA'

La stagione estiva (Giugno-Luglio-Agosto) è caratterizzata dalla scarsa frequenza e limitati accumuli medi di precipitazione sulla Puglia con minimi nei mesi di Luglio e Agosto. In estate la Puglia è interessata prevalentemente da una fascia anticiclonica ben strutturata al suolo e in quota che determina condizioni di stabilità atmosferica. Il flusso perturbato atlantico interessa aree a latitudini più settentrionali del territorio pugliese e raramente lo coinvolge. Le precipitazioni sono prevalentemente di natura termoconvettiva, nelle ore più calde della giornata con precipitazioni spesso a carattere di rovescio e temporale generalmente di breve durata ma alle volte intense ed a carattere grandinigeno.

Infatti, la distribuzione delle precipitazioni mostra i maggiori accumuli sulle zone più elevate del Gargano (media mensile 35-50 mm), Subappennino e alta Murgia (media mensile 25-35 mm), evidenziando la maggiore continentalità climatica di queste ultime zone (meno influenzati dal mare a causa della loro distanza o della loro elevazione). Da notare i discreti accumuli di precipitazione nel mese di Giugno su buona parte della pianura foggiana (media 25-35 mm), imputabile probabilmente a fenomeni temporaleschi che dalle zone montuose sconfinano sulla pianura. Le aree meno piovose nel periodo estivo sono le zone costiere, di pianura e la penisola salentina dove mediamente si ha anche un minor numero di giorni con temporali termoconvettivi con media mensile dei cumulati di 10-20 mm. Dall'analisi del Boxplot (Fig. 6.25) si nota una differenza contenuta tra il 1° e 3° quartile degli istogrammi dei cumulati indicanti una limitata variabilità interannuale degli stessi, cosi come d'altronde evidenziato dai valori di deviazione standard che risultano i più bassi dell'anno. La correlazione spaziale tra i dati di stazione riportati dal grafico del variogramma (Fig. 6.26) è decisamente elevata a sottolineare una situazione omogenea della distribuzione delle precipitazioni: le precipitazioni in questa stagione sono principalmente legate

ad un gradiente altimetrico, con precipitazioni più consistenti alle quote più elevate.

AUTUNNO (Mappe di Settembre, Ottobre e Novembre)

a) ANALISI DELLE TEMPERATURE

L'analisi condotta sulle mappe autunnali delle temperature medie massime riporta l'attenzione sui valori del coefficiente di correlazione fra le temperature e l'elevazione: poco distinguibile nel mese di Settembre, ma molto evidente nei mesi successivi, le isoterme si dispongono in maniera da seguire grossomodo l'andamento delle isoipse. La temperatura media massima registrata nel mese di Settembre assume valori compresi tra 27°C e 28,5°C in Capitanata e Arco Jonico, ma la diminuzione delle temperature nei mesi successivi riporta le medie massime del mese di Novembre a valori più bassi di 10°C, localmente anche di 12°C/14°C sull'Alta Murgia, Gargano e Subappennino Dauno.

Lo studio delle temperature medie minime dello stesso trimestre mostra un forte legame lineare con l'elevazione specie nel mese di Settembre, meno evidente nei mesi di Ottobre e Novembre. I mesi di Settembre e Ottobre hanno una distribuzione dei valori di temperatura media minima molto simile riscontrando, inoltre, un'area omogenea nei valori medi minimi sulla Puglia meridionale.

b) ANALISI DELLA PIOVOSITA'

La stagione autunnale (Settembre-Ottobre-Novembre) è caratterizzata dal progressivo abbassamento latitudinale del flusso perturbato che interessa in misura più diretta la Puglia col trascorrere della stagione. Nel mese di Settembre la distribuzione delle precipitazioni è legata sostanzialmente ai fenomeni termoconvettivi anche se inizia ad essere influenzata dalle prime perturbazioni che giungono prevalentemente da ovest-nordovest. I maggiori accumuli si riscontrano sul versante settentrionale e zone interne del massiccio garganico. Le zone orientali e costiere della regione hanno quantitativi mediamente maggiori rispetto al settore occidentale e a buona parte delle aree interne. I minimi di accumulo si hanno su arco jonico tarantino e settori della Murgia sudoccidentale. In Ottobre e Novembre si ha un considerevole incremento delle precipitazioni su tutta la Puglia. Gli accumuli mensili più consistenti (90-120 mm) si evidenziano sulla penisola salentina meridionale e orientale mentre nel mese di Novembre considerevoli sono anche gli accumuli su Gargano e zone più elevate del Subappennino Dauno con valori variabili tra gli 80- 100 mm. Le aree che beneficiano ancora una volta dei minori quantitativi di precipitazione sono la pianura foggiana, l'arco jonico tarantino, alcune zone della Murgia occidentale e in prossimità della città di Bari con quantitativi medi mensili in Ottobre e Novembre compresi tra 50-60 mm. Questa localizzazione dei massimi di precipitazione è dovuta alla configurazione barica media e all'orografia. In questo periodo dell'anno è presente con una certa frequenza una circolazione di bassa pressione sul Mar Tirreno centro meridionale con i sistemi perturbati che scorrono da ovest-sudovest a est-nordest. Dal punto di vista geomorfologico il Salento è una penisola bagnata su tre lati dal mare che in questo periodo dell'anno è più caldo dell'atmosfera. La colonna d'aria sovrastante la superficie marina riceve molta energia e per tale ragione le precipitazioni spesso assumono carattere temporalesco alle volte di forte intensità. Altre zone della Puglia, anche se beneficiano di quantitativi medi men-

sili tra i più alti dell'anno, non raggiungono valori particolarmente elevati. La distribuzione dei cumulati sul territorio pugliese nei mesi autunnali è più irregolare rispetto al periodo tardo primaverile-estivo. Gli istogrammi riportati nei boxplots (Fig. 6.25) relativi ai mesi autunnali indicano un'ampiezza notevole tra 1° e 3° quartile nel mese di Ottobre e Novembre, tra i più alti dell'anno (Novembre σ =21.45) indicando un' accentuata variabilità interannuale. Dai valori di deviazione standard elevati quindi si può desumere una certa frequenza nel succedersi di autunni particolarmente piovosi e autunni piuttosto asciutti. Essendo la stagione autunnale la più piovosa si può dedurre come i cumulati misurati durante la stagione autunnale avranno un peso notevole nel definire il cumulato annuo. In definitiva un autunno particolarmente piovoso o secco potrà con molta probabilità influenzare il cumulato annuo definendo l'anno particolarmente o scarsamente piovoso rispetto alla norma.

8. CONCLUSIONI

All'interno del gruppo di lavoro costituito dal personale dell'Ufficio Statistico e della Protezione Civile della Regione Puglia e dei ricercatori del CNR – Istituto di Ricerche Sulle Acque (IRSA) si è affrontato il tema della costruzione delle mappe climatiche in Puglia.

È stata sviluppata la prima fase delle attività che riguarda analisi dei bisogni/prodotti e l'identificazione di metodologie e strumenti per la produzione di mappe di primo livello, ottenibili dalla spazializzazione dei dati storici, opportunamente selezionati, rilevati dall'Ufficio Idrografico e Mareografico del Servizio Protezione. Le principali conclusioni per ciascuna delle attività realizzate evidenziano quanto segue.

L'utenza è rappresentata principalmente dalle amministrazioni pubbliche, sporadicamente dal singolo cittadino, che hanno richiesto in passato mappe di precipitazioni/temperature relativamente al territorio di propria pertinenza. L'idea di offrire tali prodotti può stimolare una crescente domanda di prodotto/mappa. Differenti soggetti istituzionali offrono già prodotti/mappe. È quanto mai opportuno che tale offerta possa riguardare anche le strutture regionali coinvolte nel gruppo di lavoro.

È indubbio che la produzione di una mappa sia ottenibile da un'ampia gamma di tecnologie GIS che al loro interno dispongono di funzionalità basate su metodologie afferenti ai diversi approcci.

All'interno del gruppo di lavoro si è condiviso la necessità di utilizzare approcci *open* in grado di convogliare e gestire, in qualche modo, sia i dati che le conoscenze. Fra questi la geostatistica è il contenitore di metodi e tecniche in grado di rispondere convenientemente a questo obiettivo. Tale disciplina da un lato permette di costruire le mappe delle variabili meteo-climatiche per assumere decisioni in condizioni di incertezza e fornisce come risultato due *grid*: il primo è la stima di tali variabili e il secondo è la varianza di stima, interpretabile come intervallo di incertezza della stima. Nel caso in cui le variabili siano di tipo normale la varianza di stima può essere utilizzata per costruire un intervallo di confidenza della stima ad una certa probabilità. D'altro canto la costruzione di un variogramma necessita di un insieme di decisioni in cui diventa preponderante l'esperienza e la conoscenza dell'esperto.

Le decisioni più importanti riguardano:

- il valore di un parametro del variogramma (*nugget*). Se questo è diverso da zero si sta decidendo di costruire una superficie/mappa che non passerà per i punti strumentati;
- il tipo di modello di continuità spaziale. Esso avrà delle ripercussioni sulla varianza di stima, cioè sull'intervallo di confidenza della stima. Tale intervallo sarà tanto più ampio quanto più elevate saranno le variazioni a parità di distanza fra due modelli diversi;
- il processo di stima. Esso sarà tanto più attendibile quanto più si riesce ad isolare e "spiegare" la parte deterministica (*trend* o *drift*) da quella puramente aleatoria.

Gli strumenti geostatistici utilizzabili sono diversi. All'interno del gruppo è stato sviluppato un programma per realizzare la validazione incrociata di un modello di variogramma. Costruito con una logica *free to use* è reso disponibile in questa forma alla comunità che potrà utilizzarlo liberamente, modificarlo e migliorarlo anche se per fare ciò dovrà comunque utilizzare strumenti proprietari ampiamenti diffusi (*excel* e *visual basic*).

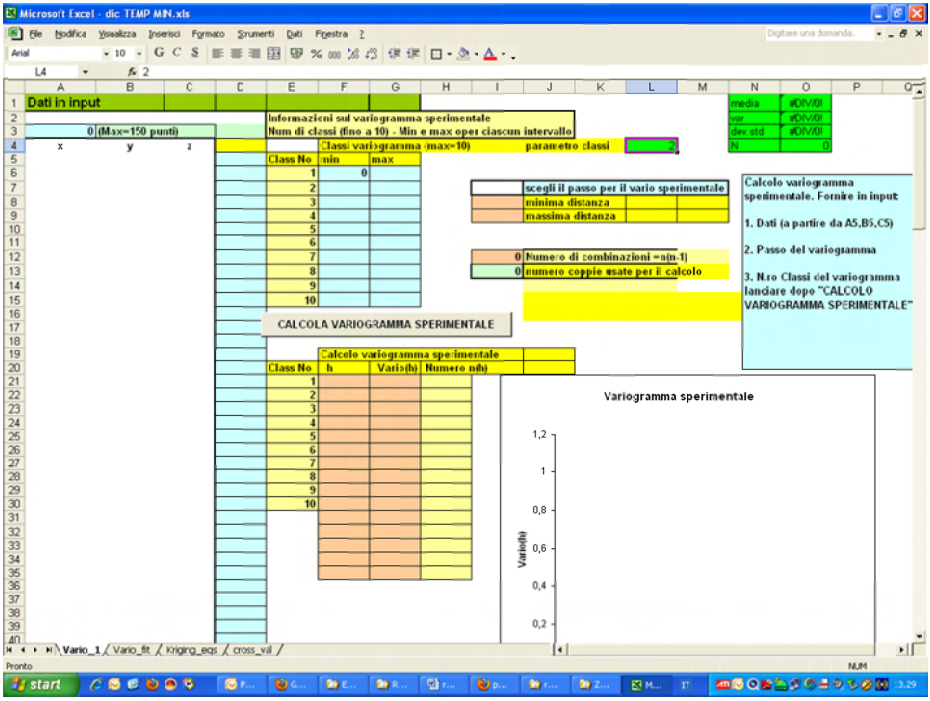
Questo report rappresenta una delle modalità con le quali è possibile diffondere i risultati relativi alle attività realizzate. Altra modalità è rappresentata dall'utilizzo dei siti istituzionali dei soggetti facenti parte del gruppo di lavoro che contengono nelle apposite sezioni di *download* i materiali raccolti durante lo sviluppo delle attività e i risultati prodotti. Le mappe saranno disponibili sul sito della Protezione Civile e fruibili in modalità *webgis*.

APPENDICE A
Istruzioni d'uso software free to use

Aprire il file excel accertandosi che il livello di protezione sia tale da attivare la macro in essa contenuta e scritta in linguaggio *Visual Basic*,

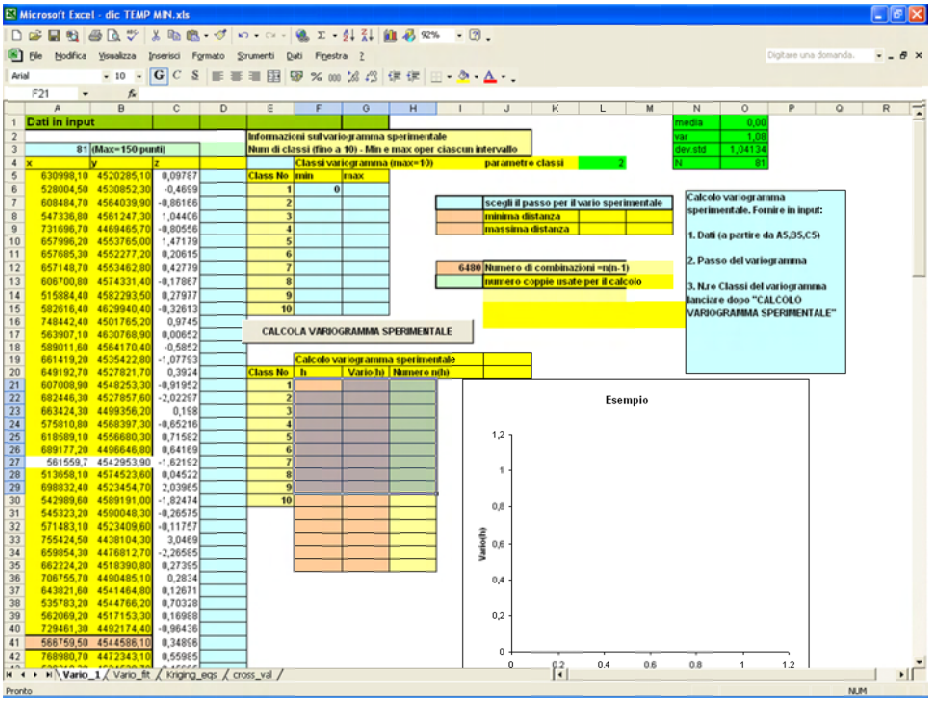
Entrare nel primo foglio denominato "Vario_1" che si presenterà in questa forma, vedi fig. A1.

Fig. A1



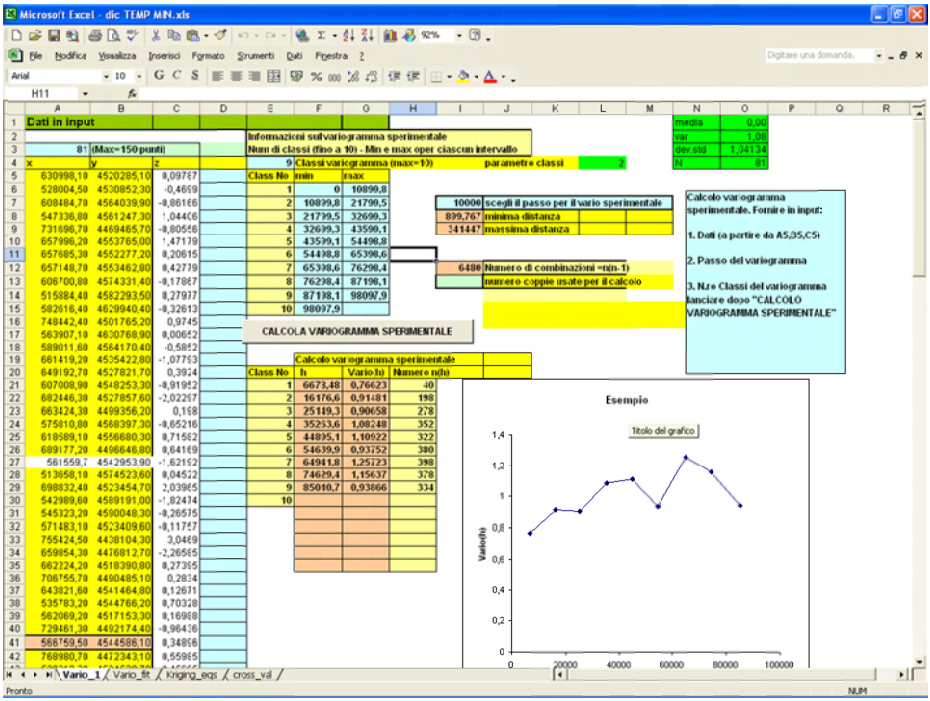
INSERIRE I DATI: Si deve adattare questo foglio ai propri dati, in numero non superiore a 150, riportandoli nelle colonne identificate da x,y, z a partire dalle posizione A5, B5, C5, Dopo il loro inserimento sarà visualizzato la dimensione N del campione in posizione A3 e le seguenti statistiche: media, varianza, deviazione standard di z in 01, 02, 03 e numero di combinazioni previste per il calcolo del variogramma sperimentale in I12 (vedi fig. A2).

Fig. A2



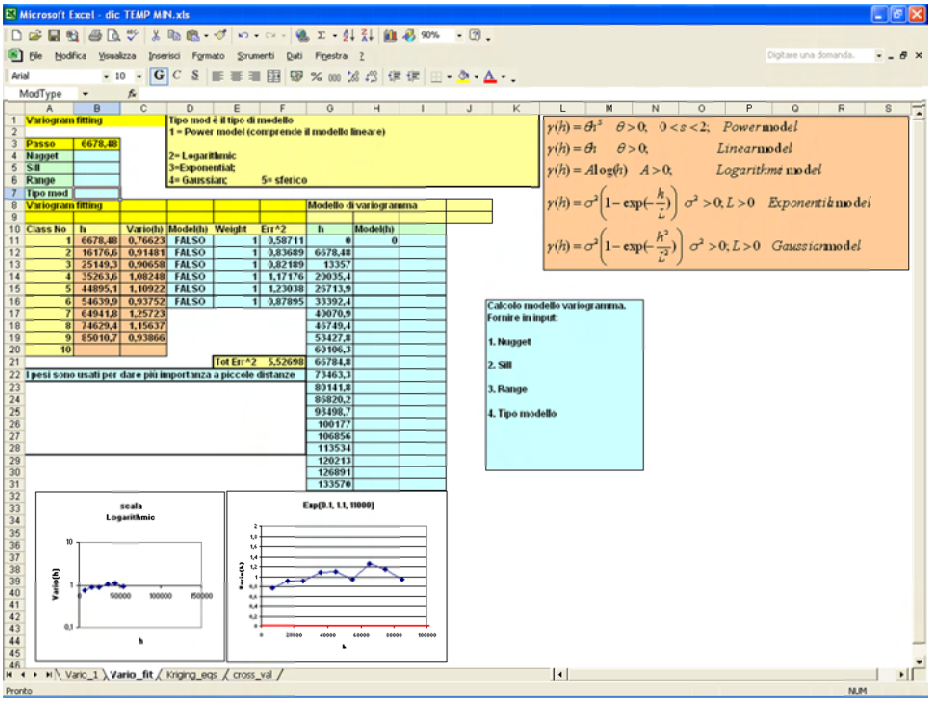
INSERIRE PARAMETRI PER IL CALCOLO DEL VARIOGRAMMA: in posizione E4 inserire il numero di classi di distanze, minore di 10, e in posizione I7 inserire l'ampiezza della singola classe: entrambe verranno utilizzate per il calcolo del variogramma sperimentale. Ora spostarsi sul box "CALCOLA VARIOGRAMMA SPERIMENTALE" attivando con il *clik* la procedura. Osservare i risultati ottenuti in H21, H22 e H23: sono gli intervalli (*lag*) iniziali del variogramma che dipendono da come è distribuito il campione di dati. Le statistiche sulla minima e massima distanza fra queste coppie sono presenti in posizione I8 e I9. Se il variogramma sperimentale in figura mostra un andamento crescente e se i valori contenuti nelle celle H21, H22 e H23 sono maggiori di 20 allora si può passare al secondo foglio selezionando col mouse "Vario_fit". Altrimenti si deve aumentare l'ampiezza della singola classe (valore contenuto in I7) e rilanciare la procedura CALCOLA VARIOGRAMMA SPERIMENTALE (fig. A3).

Fig. A3



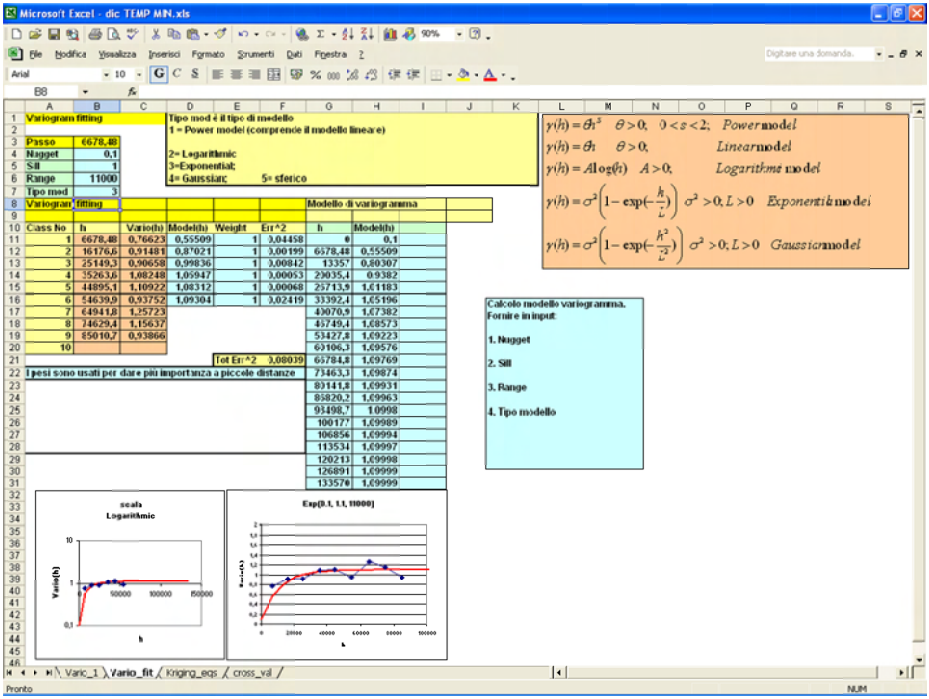
SELEZIONARE IL MODELLO DI VARIOGRAMMA: è necessario spostarsi nel foglio "Vario_fit" che si presenta come in fig. A4. In esso sono riportati tutti i valori del variogramma sperimentale contenuti nel foglio precedente e le informazioni relativi ai modelli. Nelle posizioni del foglio B4, B5, B6 e B7 bisogna inserire rispettivamente il valore di *nugget*, il *sill*, il *range* ed il numero identificativo del tipo di modello secondo la corrispondenza presentata.

Fig. A4



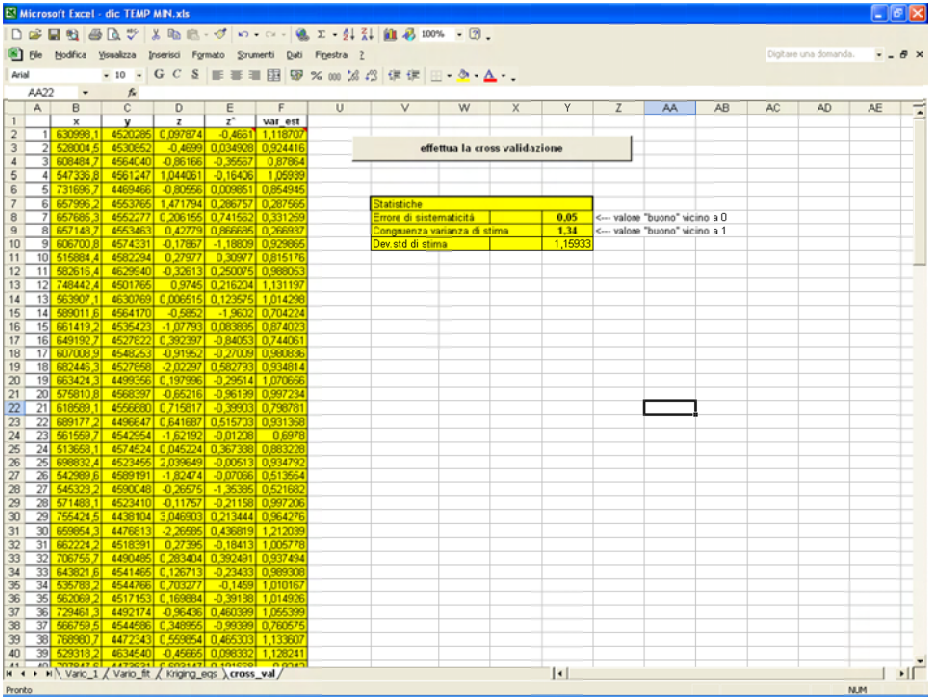
Dopo aver inserito i valori in queste posizioni si osserva il modello sovraimposto (in rosso) al variogramma sperimentale (in blu) per una esplorazione visiva. Se l'adattamento sembra buono (vedi fig. A5) si può procedere con la cross-validazione di questo modello, spostandosi sul foglio successivo "*cross_val*" altrimenti è necessario modificare i parametri o il modello sempre nelle posizioni da B4 a B7, fino a che l'adattamento non sia quello atteso.

Fig. A5



EFFETTUARE LA CROSS-VALIDATION: il foglio "cross_val" si presenta come in fig A6. Cliccando sul box "Effettua la cross-validazione" il foglio si riempie di statistiche relative al processo di stima di ciascun punto sottratto dal campione che diventa di dimensione N-1, utilizzando proprio questi N-1 valori. Le statistiche U e V ci si aspetta che si avvicinino il più possibile rispettivamente a 0 e 1. Qualora ciò non accada è necessario ritornare nel foglio "Vario_fit" per variare i parametri del modello di variogramma e rilanciare così la procedura "Effettua la cross-validazione". Questo processo termina quando si ritiene che le statistiche U e V siano soddisfacenti rispetto alle attese.

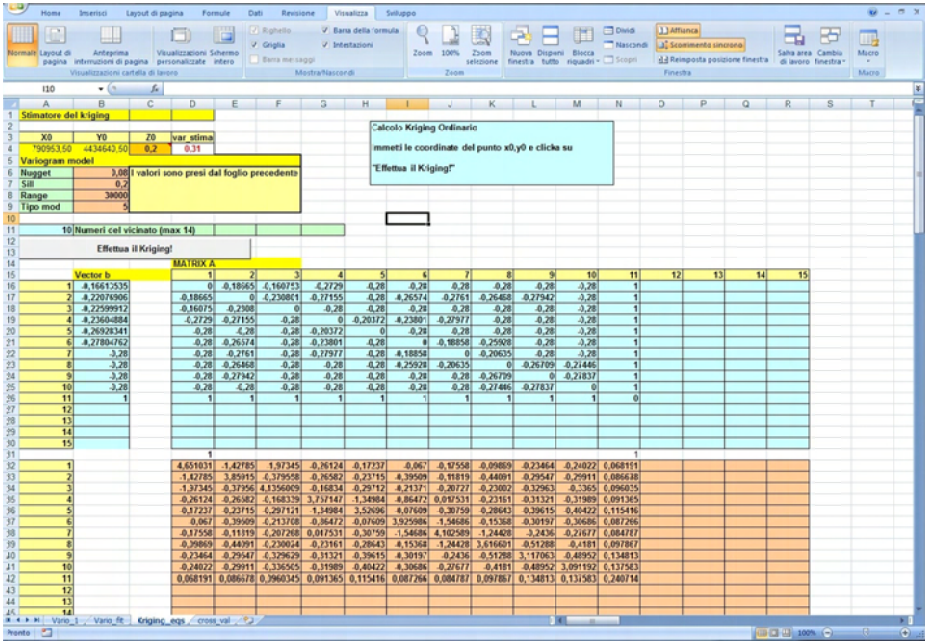
Fig. A6

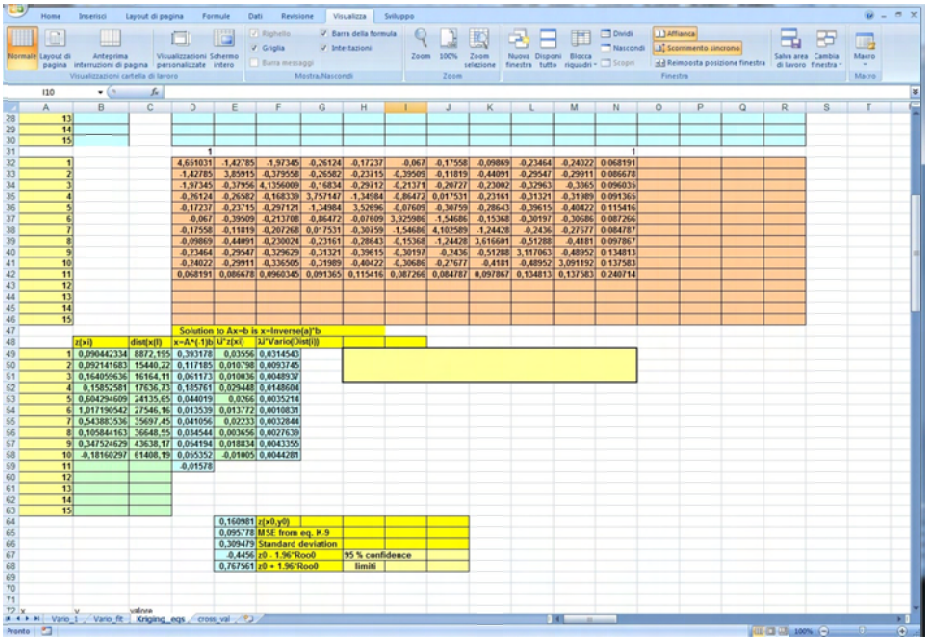


DETTAGLI SUL CALCOLO DEL KRIGING

Il foglio "Kriging_eqs" è un foglio di lavoro che realizza il kriging ordinario (fig. A7). È utile solo se l'utente vuole maggiori dettagli su tale elaborazione. Viene utilizzato senza che l'utente ne abbia riscontro, dalla procedura di *cross-validation*. L'utente può, se vuole, utilizzarlo per il calcolo del Kriging ordinario per una determinata coordinata *x0,y0* di interesse. È sufficiente inserire in posizione A4,B4 del foglio di fig. A7 le due coordinate e cliccare sul box "EFFETTUA KRIGING!". Il risultato è immediatamente presentato in posizione C3 (stima) e D3 (varianza di stima). L'intorno di *x0,y0* considerato arriva fino a massimo 14 dati. Il dettaglio sulla matrice A del Kriging da invertire e sul vettore dei termini noti è presentato nelle righe da 15 a 30. A partire dalla riga 32 si trova l'inversa di A. Altre informazioni di dettaglio sul calcolo sono visibili in fig. A7.

Fig. A7





APPENDICE B
Statistiche descrittive dati termometrici e pluviometrici

NOME STAZIONE	COMUNE	REGIONE	UTM X	UTM Y	M S.L.M.	DISTANZA DAL MARE (M)
Altamura	Altamura (BA)	Puglia	630998,10	4520285,10	482,00	41278,11
Andretta	Andretta (AV)	Campania	528004,50	4530852,30	890,00	79179,40
Andria	Andria (BT)	Puglia	608484,70	4564039,90	162,00	10845,58
Ascoli Satriano	Ascoli Satriano (FG)	Puglia	547336,80	4561247,30	437,00	43918,98
Avetrana	Avetrana (TA)	Puglia	731696,70	4469465,70	72,00	4568,18
Bari Idrografico	Bari (BA)	Puglia	657996,20	4553765,00	17,00	389,69
Bari Ingegneria	Bari (BA)	Puglia	657685,30	4552277,20	23,00	1891,69
Bari Ossevatorio	Bari (BA)	Puglia	657148,70	4553462,80	34,00	1014,53
Barletta	Barletta (BT)	Puglia	606700,80	4574331,40	30,00	1402,82
Biccari	Biccari (FG)	Puglia	515884,40	4582293,50	470,00	58702,24
Bosco Umbra	Monte Sant'Angelo (FG)	Puglia	582616,40	4629940,40	798,00	13246,64
Brindisi	Brindisi (BR)	Puglia	748442,40	4501765,20	19,00	1209,39
Cagnano Varano	Cagnano Varano (FG)	Puglia	563907,10	4630768,90	181,00	10305,98
Canosa di Puglia	Canosa di Puglia (BT)	Puglia	589011,60	4564170,40	154,00	18605,26
Casamassima	Casamassima (BA)	Puglia	661419,20	4535422,80	229,00	16330,25
Cassano delle Murge	Cassano delle Murge (BA)	Puglia	649192,70	4527821,70	351,00	27746,10
Castel del Monte	Andria (BT)	Puglia	607008,90	4548253,30	543,00	25276,82
Castellana Grotte	Castellana Grotte (BA)	Puglia	682446,30	4527857,60	29,00	13376,88
Castellaneta	Castellaneta (TA)	Puglia	663424,30	4499356,20	236,00	15467,28
Cerignola	Cerignola (FG)	Puglia	575810,80	4568397,30	134,00	20796,28
Corato	Corato (BA)	Puglia	618589,10	4556680,30	249,00	12504,34
Crispiano	Crispiano (TA)	Puglia	689177,20	4496646,80	264,00	11831,80
Diga Rendina	Lavello (PZ)	Puglia	566759,50	4544586,10	214,00	46192,31
Faeto	Faeto (FG)	Puglia	513658,10	4574523,60	776,00	66315,76
Fasano	Fasano (BR)	Puglia	698832,40	4523454,70	121,00	6025,89
Foggia Agraria	Foggia (FG)	Puglia	542989,60	4589191,00	84,00	33788,60
Foggia Osservatorio	Foggia (FG)	Puglia	545323,20	4590048,30	82,00	31307,89
Forenza	Forenza (PZ)	Basilicata	571483,10	4523409,60	753,00	62809,48
Gallipoli	Gallipoli (LE)	Puglia	755424,50	4438104,30	31,00	97,38
Ginosa Marina	Ginosa (TA)	Puglia	659854,30	4476812,70	20,00	505,59
Gioia del Colle	Gioia del Colle (BA)	Puglia	662224,20	4518390,80	377,00	32193,94
Grottaglie	Grottaglie (TA)	Puglia	706755,70	4490485,10	140,00	18408,59
Grumo Appula	Grumo Appula (BA)	Puglia	643821,60	4541464,80	191,00	16729,14
Lacedonia	Lacedonia (AV)	Campania	535783,20	4544766,20	717,00	63692,80
Lagopesole	Avigliano (PZ)	Basilicata	562069,20	4517153,30	782,00	72759,19
Latiano	Latiano (BR)	Puglia	729461,30	4492174,40	107,00	19304,75
Lavello	Lavello (PZ)	Basilicata	566759,50	4544586,10	328,00	46192,31
Lecce	Lecce (LE)	Puglia	768980,70	4472343,10	50,00	10884,06
Lesina	Lesina (FG)	Puglia	529318,20	4634539,70	13,00	4763,16
Lizzano	Lizzano (TA)	Puglia	707847,60	4473631,00	63,00	6131,47
Locorotondo	Locorotondo (BA)	Puglia	697389,70	4514012,50	404,00	14422,55
Lucera	Lucera (FG)	Puglia	528011,50	4595502,10	226,00	43676,22

	ESPOSIZIONE	GRADI MINIMA	MESE/ANNO	GRADI MASSIMA	MESE/ANNO
	Ovest	-0,2	Gennaio 1981	33,7	Luglio 1988
	Nord	-3,9	Dicembre 1991	33,3	Agosto 1993
	Est	1,6	Febbraio 2003	32,2	Luglio 1988 - Agosto 1999
	Nord	0,4	Gennaio 1981	33,3	Luglio 1983
	Ovest	2,8	Gennaio 1976	33,8	Agosto 2003
	Nord	4,3	Febbraio 1993	30,9	Agosto 1999 - 2003
	Nord-Est	3,3	Febbraio 2003	32,0	Luglio 2004
	Nord	2,7	Febbraio 1993	31,6	Agosto 1994
	Sud-Est	3,3	Febbraio 1993	33,6	Agosto 2003
	Est	0,7	Gennaio 1981	32,3	Agosto 1992
	Est	-2,1	Marzo 1987	29,3	Agosto 1994
	Nord	3,6	Marzo 1987	32,0	Agosto 2003
	Sud	2,3	Dicembre 1991	33,0	Luglio 1998
	Sud	1,4	Febbraio 1993	36,2	Agosto 1994
	Sud-Ovest	1,2	Febbraio 2003	32,6	Agosto 1994
	Sud	0,6	Gennaio 1981	33,3	Agosto 2003
	Sud	-1,2	Febbraio 1993	34,2	Luglio 1988
	Nord	1,0	Febbraio 1993	33,3	Luglio 1987
	Sud	2,0	Marzo 1987	33,7	Agosto 2003
	Est	1,3	Febbraio 1993	34,7	Agosto 2003
	Nord	2,5	Febbraio 2003	32,9	Agosto 2003
	Nord-Ovest	2,1	Febbraio 2003	33,2	Agosto 1992
	Nord	0	Gennaio 1978	35,8	Luglio 1988
	Sud	-1,7	Gennaio 1981	30,2	Agosto 2000
	Nord	4,1	Gennaio 1981	32,7	Agosto 1994 - 2003
	Nord	0,9	Febbraio 2003	37,0	Agosto 1994
	Sud-Ovest	1,9	Gennaio 1981	35,3	Agosto 2003
	Nord	-2,1	Febbraio 2003	30,4	Agosto 2000
	Nord	6,0	Febbraio 2003	33,1	Agosto 2003
	Nord-Est	0,4	Gennaio 1981	35,1	Luglio 1988
	Nord-Ovest	1,1	Febbraio 1983	32,7	Luglio 1988
	Sud-Ovest	2,9	Marzo 1987	34,2	Luglio 1988
	Nord	2,2	Febbraio 1983	35,0	Agosto 1994
	Nord	1,1	Febbraio 1993	31,1	Agosto 2000
	Nord	-1,9	Febbraio 2003	30,9	Agosto 2000
	Nord	1,6	Gennaio 2000	34,5	Agosto 1994
	Nord	1,1	Gennaio 1981	37,0	Agosto 1999
	Nord	1,8	Gennaio 2000	34,2	Agosto 2003
	Ovest	2,5	Gennaio 1981	33,1	Agosto 2003
	Sud	2,8	Gennaio 1981	35,7	Agosto 2003
	Nord-Est	0,3	Febbraio 1993	31,3	Luglio 1988
	Est	1,6	Gennaio 1981	33,9	Agosto 1999

NOME STAZIONE	COMUNE	REGIONE	UTM X	UTM Y	M S.L.M.	DISTANZA DAL MARE (M)
Maglie	Maglie (LE)	Puglia	780678,20	4446165,20	102,00	15965,70
Manduria	Manduria (TA)	Puglia	723637,70	4475261,60	81,00	10273,53
Manfredonia	Manfredonia (FG)	Puglia	573371,00	4603865,60	2,00	1130,38
Massafra	Massafra (TA)	Puglia	678460,10	4493776,50	110,00	5970,15
Masseria Monteruga	Nardò (LE)	Puglia	741269,80	4470730,60	67,00	7081,09
Masseria Santa Chiara	Trinitapoli (BT)	Puglia	594920,60	4576721,50	9,00	4739,83
Melfi	Melfi (PZ)	Basilicata	552758,90	4537739,30	533,00	58803,54
Mercadante	Cassano delle Murge (BA)	Puglia	643260,50	4527900,70	393,00	29512,37
Minervino di Lecce	Minervino di Lecce (LE)	Puglia	791536,80	4443493,50	104,00	5581,33
Minervino Murge	Minervino Murge (BT)	Puglia	591064,40	4547652,00	454,00	32031,29
Monte Sant'Angelo	Monte Sant'Angelo (FG)	Puglia	580020,10	4617529,60	817,00	5161,68
Monteleone di Puglia	Monteleone di Puglia (FG)	Puglia	521705,70	4556971,70	844,00	66852,41
Monticchio	Rionero in Vulture (PZ)	Basilicata	551075,20	4531871,00	747,00	64710,73
Nardò	Nardò (LE)	Puglia	758334,20	4451346,70	52,00	5187,17
Nusco	Nusco (AV)	Campania	507044,60	4526282,00	841,00	97257,26
Ortanova	Ortanova (FG)	Puglia	559151,70	4575168,90	80,00	25844,74
Ostuni	Ostuni (BR)	Puglia	717709,90	4511508,10	234,00	7220,54
Otranto	Otranto (LE)	Puglia	797186,80	4449554,40	29,00	541,07
Pescopagano	Pescopagano (PZ)	Basilicata	533635,50	4520317,40	920,00	83940,76
Pietramontecorvino	Pietramontecorvino (FG)	Puglia	510754,60	4599088,40	464,00	42316,10
Polignano a mare	Polignano a mare (BA)	Puglia	686649,70	4540146,30	50,00	759,77
Presicce	Presicce (LE)	Puglia	779316,60	4421387,70	105,00	6527,72
Ruvo di Puglia	Ruvo di Puglia (BA)	Puglia	624555,70	4552433,30	276,00	13563,38
San Giorgio Jonico	San Giorgio Jonico (TA)	Puglia	701991,30	4481296,30	86,00	10938,77
San Giovanni Rotondo	San Giovanni Rotondo (FG)	Puglia	558967,00	4617451,40	572,00	18871,16
San Pietro Vernotico	San Pietro Vernotico (BR)	Puglia	754417,70	4485432,40	49,00	8540,88
San Samuele di Cafiero	San Ferdinando di Puglia (BT)	Puglia	588721,80	4569166,40	46,00	14396,39
San Severo	San Severo (FG)	Puglia	531940,80	4615740,80	97,00	23274,36
Sannicandro Garganico	Sannicandro Garganico (FG)	Puglia	546701,70	4631844,50	236,00	8910,87
Santa Maria di Leuca	Castrignano del Capo (LE)	Puglia	787239,00	4410792,40	26,00	130,35
Sant'Angelo dei Lombardi	Sant'Angelo dei Lombardi (AV)	Campania	514222,70	4529592,00	875,00	89721,92
Spinazzola	Spinazzola (BT)	Puglia	592315,00	4535068,40	458,00	43157,11
Talsano	Talsano (TA)	Puglia	692844,10	4475769,40	37,00	1895,42
Taranto	Taranto (TA)	Puglia	690795,70	4481728,00	27,00	226,54
Taviano	Taviano (LE)	Puglia	763750,50	4430306,00	72,00	5589,11
Troia	Troia (FG)	Puglia	525894,30	4578930,20	448,00	53315,06
Turi	Turi (BA)	Puglia	670292,90	4531902,20	260,00	16468,29
Vieste	Vieste (FG)	Puglia	597511,90	4637115,50	53,00	230,67
Vignacastrisi	Ortelle (LE)	Puglia	790953,50	4434640,50	99,00	1704,54

	ESPOSIZIONE	GRADI MINIMA	MESE/ANNO	GRADI MASSIMA	MESE/ANNO
	Est	2,2	Dicembre 1994	34,0	Agosto 2003
	Est	2,7	Febbraio 2003	33,6	Agosto 2003
	Nord-Ovest	0,5	Gennaio 2002	34,7	Agosto 2000
	Nord	3,1	Gennaio 1981	34,7	Agosto 2003
	Est	1,6	Gennaio 1981	33,4	Agosto 2000
	Nord	0,1	Febbraio 2003	34,3	Agosto 1994
	Nord	-1	Febbraio 1993	32,5	Luglio 1988 - Agosto 1993
	Ovest	-1	Febbraio 2003	33,3	Luglio 2003
	Nord	2,9	Febbraio 2003	33,6	Agosto 2003
	Est	0,0	Febbraio 2003	32,9	Agosto 2000
	Sud	-3,2	Marzo 1987	29,7	Agosto 1994
	Ovest	-1,9	Febbraio 1984	30,0	Agosto 2000
	Nord	-3,1	Febbraio 1993	31,1	Luglio 1988
	Ovest	2,9	Febbraio 1983	34,7	Agosto 2003
	Nord	-2,3	Marzo 1987	29,9	Agosto 2003
	Nord	2,1	Febbraio 2003	35,3	Agosto 2003
	Est	3,2	Marzo 1987	31,8	Agosto 1994
	Nord	3,8	Febbraio 2003	30,9	Agosto 1994
	Nord	-3,2	Febbraio 1993	29,5	Agosto 2003
	Sud	0,0	Gennaio 1981	33,9	Agosto 1994
	Nord	3,7	Febbraio 1993	31,3	Agosto 1994
	Sud	0,3	Febbraio 1985	34,3	Agosto 2000
	Sud	0,8	Gennaio 1976	33,5	Agosto 2003
	Est	2,6	Febbraio 2003	34,7	Agosto 2003
	Sud	0,1	Febbraio 2003	30,8	Agosto 2003
	Nord	3,9	Febbraio 2003	33,1	Agosto 2003
	Sud-Est	0,2	Febbraio 1993	34,2	Luglio 1988 - Agosto 1992
	Nord	1,7	Febbraio 2003	33,8	Agosto 2003
	Sud	2,7	Febbraio 2003	33,3	Agosto 2003
	Sud	4,0	Febbraio 2003	31,5	Agosto 2003
	Nord	-1,5	Gennaio 1985	30,4	Agosto 1994
	Ovest	0,2	Gennaio 1981	34,6	Agosto 2000
	Sud	3,4	Gennaio 1981	33,7	Agosto 2003
	Ovest	3,9	Febbraio 1976	34,6	Agosto 2000 - 2003
	Nord	4,2	Gennaio 1981	34,5	Luglio 1988
	Nord	0,9	Febbraio 2003	32,6	Agosto 2000
	Nord	1,2	Febbraio 2003	31,7	Agosto 2003
	Sud	4,8	Gennaio 1981	31,8	Agosto 2003
	Nord	2,4	Febbraio 2003	32,4	Agosto 2003

NOME STAZIONE	COMUNE	REGIONE	COORDINATE		M S.L.M.	DISTANZA DAL MARE (m)	ESPOSIZIONE	MASSIMA PRECIPITAZIONE	
			UTM X	UTM Y				valori medi mensili	
Adelfia	Adelfia (BA)	Puglia	656988,60	4540466,90	153,00	13325,77	Nord	240 mm	Dicembre 1983
Alberona	Alberona (FG)	Puglia	510306,90	4586603,80	744,00	54772,18	Est	371 mm	Aprile 1978
Altamura	Altamura (BA)	Puglia	630998,10	4520285,10	482,00	41278,11	Ovest	187 mm	Dicembre 2005
Andretta	Andretta (AV)	Campania	528004,50	4530852,30	890,00	79179,40	Nord	210 mm	Dicembre 1981
Andria	Andria (BT)	Puglia	608484,70	4564039,90	162,00	10845,58	Est	196 mm	Ottobre 1997-Dicembre 2003
Ascoli Satriano	Ascoli Satriano (FG)	Puglia	547336,80	4561247,30	437,00	43918,98	Nord	196 mm	Ottobre 1983
Atella	Atella (PZ)	Basilicata	554970,20	4524827,90	495,00	69089,23	Nord	170,8 mm	Ottobre 1997
Avetrana	Avetrana (TA)	Puglia	731696,70	4469465,70	72,00	4568,18	Ovest	232,6 mm	Novembre 2003
Bari Idrografico	Bari (BA)	Puglia	657996,20	4553765,00	17,00	389,69	Nord	201 mm	Agosto 1982
Bari Ingegneria	Bari (BA)	Puglia	657685,30	4552277,20	23,00	1891,69	Nord-Est	186,2 mm	Dicembre 2002
Bari Ossevatorio	Bari (BA)	Puglia	657148,70	4553462,80	34,00	1014,53	Nord	209 mm	Agosto 1982
Barletta	Barletta (BT)	Puglia	606700,80	4574331,40	30,00	1402,82	Sud-Est	174,4 mm	Novembre 2004
Biccari	Biccari (FG)	Puglia	515884,40	4582293,50	470,00	58702,24	Est	305 mm	Aprile 1978
Bisaccia	Bisaccia (AV)	Campania	531916,60	4539604,60	900,00	70089,74	Nord	240 mm	Novembre 1976
Bisceglie	Bisceglie (BT)	Puglia	625427,90	4566277,40	32,00	1060,24	Nord	205,2 mm	Dicembre 2002
Bitonto	Bitonto (BA)	Puglia	642247,00	4552256,60	126,00	7414,40	Sud-Est	266 mm	Febbraio 1994
Borgo Libertà	Cerignola (FG)	Puglia	560009,40	4559975,00	252,00	36385,96	Sud	160 mm	Dicembre 2003
Bosco Umbra	Monte Sant'Angelo (FG)	Puglia	582616,40	4629940,40	798,00	13246,64	Est	526 mm	Dicembre 2002
Bovino	Bovino (FG)	Puglia	528279,60	4566008,30	620,00	56499,55	Sud	290,4 mm	Gennaio 2003
Brindisi	Brindisi (BR)	Puglia	748442,40	4501765,20	19,00	1209,39	Nord	236,4 mm	Dicembre 2002
Cagnano Varano	Cagnano Varano (FG)	Puglia	563907,10	4630768,90	181,00	10305,98	Sud	219,2 mm	Novembre 1998
Calitri	Calitri (AV)	Campania	534302,10	4531051,90	706,00	74987,61	Nord	215 mm	Luglio 1989
Canosa di Puglia	Canosa di Puglia (BT)	Puglia	589011,60	4564170,40	154,00	18605,26	Sud	206 mm	Maggio 1976
Casamassima	Casamassima (BA)	Puglia	661419,20	4535422,80	229,00	16330,25	Sud-Ovest	232 mm	Dicembre 1983
Cassano delle murge	Cassano delle murge (BA)	Puglia	649192,70	4527821,70	351,00	27746,10	Sud	217,5 mm	Novembre 1997
Castel del Monte	Andria (BT)	Puglia	607008,90	4548253,30	543,00	25276,82	Sud	241,6 mm	Dicembre 2003
Castellana Grotte	Castellana Grotte (BA)	Puglia	682446,30	4527857,60	29,00	13376,88	Nord	274 mm	Dicembre 1983
Castellaneta	Castellaneta (TA)	Puglia	663424,30	4499356,20	236,00	15467,28	Sud	265,6 mm	Settembre 2003
Castelluccio dei Sauri	Castelluccio dei Sauri (FG)	Puglia	539866,10	4572465,00	284,00	43236,70	Sud	202,8 mm	Gennaio 2003
Ceglie Messapica	Ceglie Messapica (BR)	Puglia	712926,70	4502424,30	286,00	17287,15	Est	249 mm	Novembre 1976 - Dicembre 1983
Cerignola	Cerignola (FG)	Puglia	575810,80	4568397,30	134,00	20796,28	Est	179 mm	Dicembre 1983
Collepasso	Collepasso (LE)	Puglia	770124,50	4440621,10	132,00	13294,04	Nord	300,8 mm	Novembre 1998
Conversano	Conversano (BA)	Puglia	677901,20	4536821,70	212,00	8603,59	Nord	269 mm	Dicembre 1983
Copertino	Copertino (LE)	Puglia	759480,10	4462016,70	48,00	11692,49	Nord	275,2 mm	Novembre 2004
Corato	Corato (BA)	Puglia	618589,10	4556680,30	249,00	12504,34	Nord	213 mm	Novembre 1979
Crispiano	Crispiano (TA)	Puglia	689177,20	4496646,80	264,00	11831,80	Nord-Ovest	313,6 mm	Gennaio 1996
Diga Rendina	Lavello (PZ)	Basilicata	566759,50	4544586,10	214,00	46192,31	Nord	178,6 mm	Novembre 1997
Faeto	Faeto (FG)	Puglia	513658,10	4574523,60	776,00	66315,76	Sud	309 mm	Aprile 1978
Fasano	Fasano (BR)	Puglia	698832,40	4523454,70	121,00	6025,89	Nord	232 mm	Novembre 1976
Foggia Agraria	Foggia (FG)	Puglia	542989,60	4589191,00	84,00	33788,60	Nord	148,2 mm	Novembre 1997
Foggia Osservatorio	Foggia (FG)	Puglia	545323,20	4590048,30	82,00	31307,89	Sud-Ovest	159 mm	Novembre 1985
Fonte Rosa	Manfredonia (FG)	Puglia	564690,70	4587256,80	25,00	14347,20	Nord-Est	169,2 mm	Novembre 1997
Forenza	Forenza (PZ)	Basilicata	571483,10	4523409,60	753,00	62809,48	Nord	187 mm	Novembre 1976
Galatina	Galatina (LE)	Puglia	770061,70	4451673,70	84,00	15304,39	Est	341 mm	Novembre 1993
Gallipoli	Gallipoli (LE)	Puglia	755424,50	4438104,30	31,00	97,38	Nord	313 mm	Novembre 1993
Ginosa Marina	Ginosa (TA)	Puglia	659854,30	4476812,70	20,00	505,59	Nord-Est	254 mm	Dicembre 1984
Ginosa	Ginosa (TA)	Puglia	648752,40	4493260,80	272,00	19615,64	Sud	314 mm	Dicembre 1984
Gioia del Colle	Gioia del Colle (BA)	Puglia	662224,20	4518390,80	377,00	32193,94	Nord-Ovest	228 mm	Ottobre 2005

MESE MENO PIOVOSO		MESE PIU' PIOVOSO		MINIMA PRECIPITAZIONE		PRECIPITAZIONE ANNUA MINIMA		PRECIPITAZIONE ANNUA MASSIMA	
valori medi nel trentennio		valori medi nel trentennio		valori medi mensili		valori medi annui		valori medi annui	
24,1	Luglio	70,7	Novembre	0 mm	Marzo 94 - Luglio 78/84/88/93/01 - Agosto 86/88/92/00/01 - Ottobre 95	370 mm	2001	756 mm	2003
31	Luglio	104,2	Novembre	0 mm	Luglio 88/01	495 mm	2000	1171 mm	1976
24,8	Luglio	65,9	Novembre	0 mm	Luglio 84/88/96	329 mm	1992	752 mm	1980
40,4	Luglio	97,5	Novembre	0 mm	Luglio 80/85/88	568 mm	2001	991 mm	1976
20,1	Luglio	76,8	Novembre	0 mm	Marzo 94 - Luglio 78/84/88/93 - Agosto 86 - Ottobre 95	307 mm	2000	775 mm	1976
22,7	Luglio	73,7	Novembre	0 mm	Luglio - 77/78/88 - Agosto 00 - Settembre 80	363 mm	1977	1054 mm	1976
33,8	Luglio	78,1	Novembre	0 mm	Luglio 78/80/84/85/88 - Agosto 88/93	419 mm	1982	888 mm	1998
23,9	Maggio	92,8	Novembre	0 mm	Giugno 90 - Luglio 77/78/87/88	333 mm	1989	963 mm	1976
21,3	Luglio	68,1	Novembre	0 mm	Giugno 82 - Luglio 78/84/88/96 - Agosto 86/92/00/01	329 mm	1992	851 mm	2003
21,3	Luglio	67,4	Novembre	0 mm	Giugno 82 - Luglio 78/84/88/96 - Agosto 86/92/00/01 - Settembre 85	335 mm	1989	827 mm	2003
21	Luglio	67,4	Novembre	0 mm	Giugno 82 - Luglio 78/84/88/96 - Agosto 86/92/00/01	340 mm	2000	714 mm	2003
18,4	Luglio	68,8	Novembre	0 mm	Marzo 84 - Luglio78/84/88 - Agosto 86/92/04 - Ottobre 95	269 mm	1977	717 mm	2002
33	Luglio	101,3	Novembre	0 mm	Giugno 98 - Luglio 88	462 mm	1977	1049 mm	1976
33,7	Luglio	98,8	Novembre	0 mm	Giugno 98 - Luglio 88 - Agosto 00 - Settembre 93	553 mm	1994	1176 mm	1976
23,9	Luglio	77,6	Novembre	0 mm	Luglio 84 - Agosto 86/92/00	329 mm	1992	717 mm	2003
18,5	Agosto	76,6	Novembre	0 mm	Giugno 85 - Luglio 78/84/88/93/94 - Agosto 86/88/92/94/00 - Ottobre 95	318 mm	1992	804 mm	1976
21,5	Luglio	66,0	Novembre	0 mm	Luglio 77/78/88 - Agosto 00	324 mm	1994	883 mm	1976
50,6	Luglio	47,8	Dicembre	0 mm	Agosto 92/00	560 mm	1976	1582 mm	1996
35,1	Luglio	105,0	Novembre	0 mm	Luglio 88/01	394 mm	1977	1125 mm	1976
16,4	Giugno	92,2	Novembre	0 mm	Giugno 84/98 - Luglio 77/78/84/88/90/93/94/96 - Agosto 86/90/91/00 - Settembre 85	400 mm	1985	927 mm	1996
38,6	Luglio	99,0	Novembre	0 mm	Agosto 93/00	468 mm	1992	1022 mm	1976
42,6	Giugno	88,1	Novembre	0 mm	Marzo 94 - Luglio 88	483 mm	2000	981 mm	1978
19,3	Luglio	70,5	Novembre	0 mm	Luglio 77/78/84/88 - Agosto 86/92/01	249 mm	1977	731 mm	1976
21,7	Agosto	70,0	Novembre	0 mm	Giugno 85 - Luglio 78/84/88/93/00 - Agosto 86/88/92/00/01 - Settembre 80	335 mm	1989	800 mm	1996
26,3	Luglio	86,7	Novembre	0 mm	Luglio 78/84/88 - Agosto 86/88/92	358 mm	1992	980 mm	1976
24,3	Luglio	77,9	Novembre	0 mm	Luglio 78/84/88 - Agosto 86	324 mm	1992	861 mm	2004
27,2	Giugno	80,6	Novembre	0 mm	Marzo 94 - Luglio 78/84/88/96 - Agosto 86/92/00/01	369 mm	1989	888 mm	2002
22,3	Luglio	70,5	Novembre	0 mm	Luglio 77/84/88/00/01 - Agosto 87	307 mm	1992	947 mm	1976
29,4	Luglio	65,5	Novembre	0 mm	Marzo 94 - Luglio 78/88	308 mm	1977	878 mm	1976
19,8	Luglio	86,6	Dicembre	0 mm	Giugno 82 - Luglio 77/78/84/8896 - Agosto 86/92/00	374 mm	1989	981 mm	1996
25,2	Luglio	69,0	Novembre	0 mm	Marzo 94 - Giugno 97 - Luglio 77/78/84/88 - Agosto 92	301 mm	1977	760 mm	1976
14	Luglio	117,0	Novembre	0 mm	Giugno 98 - Luglio 77/78/79/84/88/93/97 - Agosto 88/91/92/00/01	344 mm	1977	1095 mm	1996
23,4	Luglio	79,1	Novembre	0 mm	Luglio 78/84 - Agosto 86/92/94/00/01	347 mm	1990	861 mm	1996
17	Giugno	91,3	Novembre	0 mm	Giugno 81/85/90/95 - Luglio 77/78/88/90/93/96 - Agosto 86/87/88/91/92/93/00	322 mm	1989	1158 mm	1996
24,7	Luglio	79,3	Novembre	0 mm	Giugno 91 - Luglio 78/84/88 - Agosto 86/92/00	335 mm	1977	863 mm	1998
22,6	Giugno	73,2	Novembre	0 mm	Luglio 77/84/88 - Agosto 87/89/00	334 mm	1989	1020 mm	1976
25	Agosto	74,2	Novembre	0 mm	Luglio 78/88/01 - Agosto 88	321 mm	1977	891 mm	1976
30,4	Luglio	111,2	Novembre	1 mm	Maggio 82 - Luglio 88 - Settembre 80	431 mm	1977	1004 mm	1996
19,2	Luglio	86,9	Novembre	0 mm	Luglio 84/88/96 - Agosto 86/88/92/00/01	364 mm	1989	914 mm	1996
15,5	Luglio	54,4	Novembre	0 mm	Luglio 84 - Agosto 93	302 mm	1994	638 mm	2002
19,9	Luglio	60,9	Novembre	0 mm	Maro 94 - Luglio 78/84/96	233 mm	1977	688 mm	2002
17,1	Luglio	56,9	Novembre	0 mm	Luglio 77/78/84/88 - Agosto 04	232 mm	2000	636 mm	1995
22	Luglio	73,1	Novembre	0 mm	Marzo 94 - Luglio 78/80/88/00	464 mm	1992	934 mm	1976
17,7	Luglio	120,4	Novembre	0 mm	Maggio 99 - Giugno 85 - Luglio 77/78//80/88/90/96/97 - Agosto 88/91/92/93/00	401 mm	1989	1299 mm	1996
9,4	Giugno	98,2	Novembre	0 mm	Maggio 88 - Giugno 82/84/85/95/ - Luglio 77/78/79/80/84/87/88/93/96 - Agosto 87/88/92/00	252 mm	1989	788 mm	1996
17	Luglio	75,9	Novembre	0 mm	Luglio 77/78/80/84/88 - Agosto 85/86/87/00 - Agosto 85	290 mm	1999	906 mm	1984
23,1	Luglio	73,0	Novembre	0 mm	Luglio 80/82/88 - Agosto 85/87	268 mm	1999	941 mm	1984
24,7	Luglio	77,0	Dicembre	0 mm	Luglio 78/84/88 - Agosto 00/01 - Settembre 85	461 mm	1999	962 mm	1976

NOME STAZIONE	COMUNE	REGIONE	COORDINATE		M S.L.M.	DISTANZA DAL MARE (m)	ESPOSIZIONE	MASSIMA PRECIPITAZIONE	
			UTM X	UTM Y				valori medi mensili	
Giovinazzo	Giovinazzo (BA)	Puglia	640150,50	4560690,70	25,00	566,62	Nord-Est	272,4 mm	Novembre 1997
Grottaglie	Grottaglie (TA)	Puglia	706755,70	4490485,10	140,00	18408,59	Sud-Ovest	237 mm	Novembre 1976
Grumo Appula	Grumo Appula (BA)	Puglia	643821,60	4541464,80	191,00	16729,14	Nord	193,8 mm	Novembre 1997
Lacedonia	Lacedonia (AV)	Campania	535783,20	4544766,20	717,00	63692,80	Nord	222,2 mm	Gennaio 2003
Lagopesole	Avigliano (PZ)	Basilicata	562069,20	4517153,30	782,00	72759,19	Nord	271 mm	Novembre 1976
Latiano	Avigliano (PZ)	Basilicata	729461,30	4492174,40	107,00	19304,75	Nord	300 mm	Novembre 1976
Lavello	Lavello (PZ)	Basilicata	566759,50	4544586,10	328,00	46192,31	Nord	191 mm	Novembre 1976
Lecce	Lecce (LE)	Puglia	768980,70	4472343,10	50,00	10884,06	Nord	326 mm	Ottobre 1996
Lesina	Lesina (FG)	Puglia	529318,20	4634539,70	13,00	4763,16	Ovest	199 mm	Novembre 1979
Lizzano	Lizzano (TA)	Puglia	707847,60	4473631,00	63,00	6131,47	Sud	236 mm	Novembre 1976
Loconia	Canosa di Puglia (BT)	Puglia	578906,10	4557012,70	102,00	29639,48	Nord	155 mm	Dicembre 1983
Locorotondo	Locorotondo (BA)	Puglia	697389,70	4514012,50	404,00	14422,55	Nord-Est	290 mm	Novembre 1976
Lucera	Lucera (FG)	Puglia	528011,50	4595502,10	226,00	43676,22	Est	218,8 mm	Agosto 2002
Maglie	Maglie (LE)	Puglia	780678,20	4446165,20	102,00	15965,70	Est	315 mm	Novembre 1976
Manduria	Manduria (TA)	Puglia	723637,70	4475261,60	81,00	10273,53	Est	260 mm	Novembre 1976
Manfredonia	Manfredonia (FG)	Puglia	573371,00	4603865,60	2,00	1130,38	Nord-Ovest	185,2 mm	Dicembre 2002
Massafra	Massafra (TA)	Puglia	678460,10	4493776,50	110,00	5970,15	Nord	310,6 mm	Gennaio 1996
Masseria Brela II Pod. 115	Candela (FG)	Puglia	547310,60	4552848,00	245,00	49763,41	Nord	176 mm	Dicembre 2003
Masseria Chiancarello	Mottola (TA)	Puglia	680800,97	4507503,00	467,00	19956,78	Nord	271 mm	Novembre 1976
Masseria Monteruga	Nardò (LE)	Puglia	741269,80	4470730,60	67,00	7081,09	Est	297,4 mm	Ottobre 1996
Masseria Santa Chiara	Trinitapoli (BT)	Puglia	594920,60	4576721,50	9,00	4739,83	Nord	170 mm	Novembre 1979
Melendugno	Melendugno (LE)	Puglia	783434,00	4462979,60	50,00	6917,61	Sud-Est	296,8 mm	Dicembre 2002
Melfi	Melfi (PZ)	Basilicata	552758,90	4537739,30	533,00	58803,54	Nord	241,4 mm	Gennaio 2003
Mercadante	Cassano delle murge (BA)	Puglia	643260,50	4527900,70	393,00	29512,37	Ovest	246,6 mm	Ottobre 2005
Minervino di Lecce	Minervino di Lecce (LE)	Puglia	791536,80	4443493,50	104,00	5581,33	Nord	358 mm	Novembre 1993
Minervino Murge	Minervino Murge (BT)	Puglia	591064,40	4547652,00	454,00	32031,29	Est	207 mm	Dicembre 1983
Monte Sant'Angelo	Monte Sant'Angelo (FG)	Puglia	580020,10	4617529,60	817,00	5161,68	Sud	290,8 mm	Dicembre 2002
Monteleone di Puglia	Monteleone di Puglia (FG)	Puglia	521705,70	4556971,70	844,00	66852,41	Ovest	284 mm	Gennaio 2003
Montemilone	Montemilone (PZ)	Basilicata	581182,20	4541993,20	343,00	41937,96	Nord	173,4 mm	Agosto 1995
Monticchio	Rionero in Vulture (PZ)	Basilicata	551075,20	4531871,00	747,00	64710,73	Nord	300,6 mm	Gennaio 2003
Nardò	Nardò (LE)	Puglia	758334,20	4451346,70	52,00	5187,17	Ovest	285,6 mm	Novembre 2004
Noci	Noci (BA)	Puglia	679095,60	4518205,60	431,00	22833,89	Ovest	272 mm	Ottobre 2005
Novoli	Novoli (LE)	Puglia	759031,40	4474191,30	51,00	14493,91	Nord	277,2 mm	Ottobre 1996
Nusco	Nusco (AV)	Campania	507044,60	4526282,00	841,00	97257,26	Nord	385 mm	Novembre 1976
Orsara di Puglia	Orsara di Puglia (FG)	Puglia	522318,30	4569916,40	683,00	60066,39	Ovest	322,6 mm	Gennaio 2003
Ortanova	Ortanova (FG)	Puglia	559151,70	4575168,90	80,00	25844,74	Nord	158,2 mm	Dicembre 2003
Orto di Zolfo	Biccari (FG)	Puglia	512874,10	4579999,20	854,00	61145,29	Nord	358 mm	Aprile 1978
Ostuni	Ostuni (BR)	Puglia	717709,90	4511508,10	234,00	7220,54	Est	289 mm	Novembre 1987
Otranto	Otranto (LE)	Puglia	797186,80	4449554,40	29,00	541,07	Nord	409,6 mm	Dicembre 2002
Pescopagano	Pescopagano (PZ)	Basilicata	533635,50	4520317,40	920,00	83940,76	Nord	290 mm	Novembre 1976
Pietramonte-corvino AQP	Pietramontecorvino (FG)	Puglia	519940,20	4596998,70	225,00	43452,97	Sud	208,6 mm	Agosto 2002

MESE MENO PIOVOSO		MESE PIU' PIOVOSO		MINIMA PRECIPITAZIONE		PRECIPITAZIONE ANNUA MINIMA		PRECIPITAZIONE ANNUA MASSIMA	
valori medi nel trentennio		valori medi nel trentennio		valori medi mensili		valori medi annui		valori medi annui	
16,8	Luglio	72,9	Novembre	0 mm	Marzo 94 - Luglio 77/78/84/88/93 - Agosto 86/92/00 - Ottobre 95	234 mm	1992	797 mm	1996
25,6	Luglio	67,5	Novembre	0 mm	Luglio 77/78 - Agosto 87/89/93/94/00	353 mm	2001	949 mm	1996
25,4	Luglio	73,7	Novembre	0 mm	Giugno 85/97 - Luglio 78/84/88/93/97 - Agosto 86/92/97/00 - Ottobre 95	367 mm	1985	791 mm	1995
30,9	Luglio	88,1	Novembre	0 mm	Marzo 94 - Luglio 88/00	503 mm	1977	1083 mm	1976
34,2	Luglio	114,5	Novembre	0 mm	Luglio 78/85/88	704 mm	1977 - 2000	1189 mm	1996
19	Luglio	92,6	Novembre	0 mm	Giugno 84 - Luglio 77/78/84/88/90/94/96 - Agosto 86/88/92/93/00 - Settembre 85	334 mm	2000	958 mm	1976
28,4	Luglio	76,4	Novembre	0 mm	Luglio 88 - Agosto 85/88	357 mm	1977	910 mm	1976
18,4	Luglio	103,9	Novembre	0 mm	Giugno 78/84/95 - Luglio 77/78/84/88/90/96/03 - Agosto 86/87/88/91/92/93/00	331 mm	1992	1364 mm	1996
31,5	Luglio	84,9	Novembre	0 mm	Luglio 97/ - Agosto 92/9400 - Ottobre 95	385 mm	1993	902 mm	2004
17,6	Luglio	73,4	Dicembre	0 mm	Giugno 82/84 - Luglio 77/78/88/90/96 - Agosto 87/88/89/91/00	276 mm	1989	825 mm	1976
21,8	Luglio	64,8	Novembre	0 mm	Luglio 77/78/88 - Agosto 92	302 mm	1977	699 mm	1976
23,5	Luglio	86,1	Novembre	0 mm	Marzo 94 - Luglio 77/84/88/94/96 - Agosto 86/92/94/00/01	335 mm	1989	1247 mm	1976
24	Luglio	63,0	Novembre	0 mm	Marzo 94 - Luglio 88 - Agosto 93 - Settembre 80	284 mm	1977	743 mm	2002
18,3	Luglio	113,0	Novembre	0 mm	Luglio 78/80/84/88 - Agosto 86/88/89/00 - Settembre 80	345 mm	1977	1193 mm	1996
22,6	Giugno	84,0	Novembre	0 mm	Giugno 84/90/93 - Luglio 77/78/79/88/90 - Agosto 87/88/92/00	267 mm	1989	1010 mm	1996
17,9	Luglio	56,9	Novembre	0 mm	Maggio 82 - Luglio 77/78/84/88 - Agosto 86/92/00 - Ottobre 95	200 mm	1977	628 mm	2002
21,7	Luglio	68,1	Novembre	0 mm	Marzo 94 - Luglio 77/84/88 - Agosto 89/00	279 mm	1989	1097 mm	1976
28,9	Luglio	63,4	Novembre	0 mm	Luglio 78/84/88/00	407 mm	2000	893 mm	1976
27	Luglio	79,1	Novembre	0 mm	Luglio 84/88 - Agosto 00 - Settembre 85	370 mm	1989	1130 mm	1976
19,1	Giugno	85,2	Novembre	0 mm	Maggio 82 - Luglio 77/78/79/88/90/93 - Agosto 88/89/91/92	350 mm	1989	1083 mm	1996
15,6	Luglio	59,7	Novembre	0 mm	Marzo 94 - Luglio 77/84/88/01 - Agosto 86/01	229 mm	1977	656 mm	1976
17,4	Luglio	111,0	Novembre	0 mm	Luglio 77/78/80/83/87/88/90/93/94/96/03 - Agosto 86/88/91/92/93 - Settembre 80	370 mm	1977	1064 mm	2002
35,5	Luglio	99,5	Novembre	0 mm	Luglio 78/88/00	492 mm	1982	1261 mm	1976
24,1	Luglio	78,9	Novembre	0 mm	Luglio 78/84/88/96 - Agosto 86/92	437,8 mm	2000	899 mm	1976
20,8	Luglio	137,7	Novembre	0 mm	Luglio 78/79/80/88/03 - Agosto 86/92/00 - Settembre 85	402 mm	1977	1174,4 mm	1996
21,1	Luglio	79,2	Novembre	0 mm	Luglio 77/78/84/88/93/96	351 mm	1977	801 mm	1998
28,8	Luglio	93,9	Novembre	0 mm	Luglio 78/84/97 - Agosto 00 - Ottobre 95	357 mm	1977	1053 mm	1984
34,4	Luglio	101,3	Novembre	0 mm	Luglio 88	518 mm	2000	1089,4 mm	2004
22,3	Luglio	71,1	Novembre	0 mm	Luglio 77/78/84/88 - Agosto 85/92/00/01	293 mm	1977	761 mm	1976
35,5	Agosto	109,4	Novembre	0 mm	Luglio 78/80/88	563 mm	1977	1274 mm	1976
14,8	Luglio	104,0	Novembre	0 mm	Giugno 85/93 - Luglio 77/78/80/84/87/88/96/03 Agosto 87/88/91/92/00/01 - Settembre 90	225 mm	1989	968 mm	1996
24,7	Giugno	76,0	Dicembre	0 mm	Luglio 78/84/88/96 - Agosto 86/92/00/01	383,2 mm	2000	899 mm	1976
16	Agosto	100,2	Novembre	0 mm	Giugno 84 - Luglio 77/78/88/90/93/96/01/03 - Agosto 86/87/88/91/92/00 - Settembre 80	384,8 mm	2000	1105,2 mm	1996
30,2	Luglio	150,7	Novembre	0 mm	Marzo 94 - Luglio 80/84/85	776 mm	1989	1688 mm	1976
35	Luglio	114,4	Novembre	1 mm	Marzo 94 - Luglio 85 - Agosto 88 - Settembre 80	534 mm	1994	1324 mm	1976
19,6	Luglio	59,1	Novembre	0 mm	Marzo 94 - Luglio 77/84/88 - Agosto 92	268 mm	1977	689 mm	2002
34,9	Agosto	124,8	Novembre	0 mm	Luglio 84	492 mm	1977	1246 mm	1976
22,1	Luglio	100,1	Novembre	0 mm	Giugno 82 - Luglio 77/78/84/88/90/94/96 - Agosto 86/92/94/00 - Settembre 80	409 mm	1981	1104 mm	1996
13,9	Luglio	121,0	Novembre	0 mm	Giugno 84 - Luglio 77/78/80/83/88/94/03 - Agosto 86/91/92/00	386 mm	1977	1141 mm	1996
37,4	Luglio	142,7	Novembre	0 mm	Giugno 90 - Luglio 85/88 - Agosto 00	724,4 mm	2001	1384 mm	1976
23,7	Luglio	67,0	Novembre	0 mm	Marzo 94 - Luglio 88 - Agosto 92	277 mm	1977	813,2 mm	2002

NOME STAZIONE	COMUNE	REGIONE	COORDINATE		M S.L.M.	DISTANZA DAL MARE (m)	ESPOSIZIONE	MASSIMA PRECIPITAZIONE	
			UTM X	UTM Y				valori medi mensili	
Pietramonte-corvino	Pietramontecorvino (FG)	Puglia	510754,60	4599088,40	464,00	42316,10	Sud	299 mm	Aprile 1978
Polignano a mare	Polignano a mare (BA)	Puglia	686649,70	4540146,30	50,00	759,77	Nord	225 mm	Novembre 1976
Presicce	Presicce (LE)	Puglia	779316,60	4421387,70	105,00	6527,72	Sud	307 mm	Novembre 1990
Ripacandida	Ripacandida (PZ)	Basilicata	561961,30	4529703,70	658,00	61723,52	Nord	193 mm	Novembre 1976
Rocchetta Sant'Antonio Scalo	Rocchetta Sant'Antonio (FG)	Puglia	539088,20	4550519,00	679,00	57286,71	Ovest	221,6 mm	Dicembre 2003
Rocchetta Sant'Antonio	Rocchetta Sant'Antonio (FG)	Puglia	546139,30	4547649,20	220,00	54634,89	Est	218 mm	Gennaio 2003
Ruffano	Ruffano (LE)	Puglia	777255,90	4430876,20	140,00	13571,37	Est	309 mm	Novembre 1976
Ruvo di Puglia	Ruvo di Puglia (BA)	Puglia	624555,70	4552433,30	276,00	13563,38	Sud	232 mm	Luglio 1976
San Fele	San Fele (PZ)	Basilicata	545561,50	4518882,90	902,00	78735,53	Nord	264 mm	Novembre 1985
San Giorgio Jonico	San Giorgio Jonico (TA)	Puglia	701991,30	4481296,30	86,00	10938,77	Est	302 mm	Novembre 1976
San Giovanni Rotondo	San Giovanni Rotondo (FG)	Puglia	558967,00	4617451,40	572,00	18871,16	Sud	241 mm	Novembre 1987
San Marco in Lamis	San Marco in Lamis (FG)	Puglia	552920,50	4617795,80	564,00	23026,76	Nord	443 mm	Settembre 1982
San Pancrazio Salentino	San Pancrazio Salentino (BR)	Puglia	740936,50	4478085,70	64,00	14279,07	Nord	253 mm	Novembre 1976
San Pietro Vernotico	San Pietro Vernotico (BR)	Puglia	754417,70	4485432,40	49,00	8540,88	Nord	264 mm	Novembre 1987
San Severo	San Severo (FG)	Puglia	531940,80	4615740,80	97,00	23274,36	Nord	176 mm	Maggio 1980
San Vito dei Normanni	San Vito dei Normanni (BR)	Puglia	728719,90	4504209,20	116,00	9292,05	Nord	276 mm	Dicembre 1995
Sannicandro Garganico	Sannicandro Garganico (FG)	Puglia	546701,70	4631844,50	236,00	8910,87	Sud	248,6 mm	Novembre 1998
Santa Maria di Leuca	Castrignano del Capo (LE)	Puglia	787239,00	4410792,40	26,00	130,35	Sud	373 mm	Novembre 1993
Sant'Agata di Puglia	Sant'Agata di Puglia (FG)	Puglia	531992,20	4555393,70	710,00	59403,48	Est	187 mm	Maggio 1987
Sant'Angelo dei Lombardi	Sant'Angelo dei Lom-bardi (AV)	Campania	514222,70	4529592,00	875,00	89721,92	Nord	270 mm	Novembre 1976
Santeramo in Colle	Santeramo in Colle (BA)	Puglia	648564,20	4517174,80	489,00	37837,50	Est	195 mm	Dicembre 1984
Savignano Irpino	Savignano Irpino (AV)	Campania	515390,20	4563731,10	718,00	68958,07	Nord	239,2 mm	Gennaio 2003
Spinazzola	Spinazzola (BT)	Puglia	592315,00	4535068,40	458,00	43157,11	Ovest	201 mm	Dicembre 2003
Talsano	Talsano (TA)	Puglia	692844,10	4475769,40	37,00	1895,42	Sud	282 mm	Ottobre 1985
Taranto	Taranto (TA)	Puglia	690795,70	4481728,00	27,00	226,54	Ovest	245 mm	Novembre 1976
Taviano	Taviano (LE)	Puglia	763750,50	4430306,00	72,00	5589,11	Nord	452 mm	Novembre 1993
Teora	Teora (AV)	Campania	520445,50	4521635,00	687,00	91092,77	Nord	311 mm	Novembre 1976
Tertiveri	Biccari (FG)	Puglia	517209,00	4586826,80	364,00	53982,94	Est	221 mm	Aprile 1978
Torremaggiore	Torremaggiore (FG)	Puglia	524304,50	4615334,50	184,00	24605,45	Est	219 mm	Maggio 1980
Troia	Troia (FG)	Puglia	525894,30	4578930,20	448,00	53315,06	Nord	224,6 mm	Gennaio 2003
Turi	Turi (BA)	Puglia	670292,90	4531902,20	260,00	16468,29	Nord	280 mm	Dicembre 1983
Venosa	Venosa (PZ)	Basilicata	567217,70	4534339,00	426,00	55148,42	Nord	229 mm	Novembre 1976
Vico del Gargano	Vico del Gargano (FG)	Puglia	579496,60	4638143,80	450,00	5313,61	Ovest	563 mm	Dicembre 2002
Vieste	Vieste (FG)	Puglia	597511,90	4637115,50	53,00	230,67	Sud	327,8 mm	Dicembre 2002
Vignacastrisi	Ortelle (LE)	Puglia	790953,50	4434640,50	99,00	1704,54	Nord	347 mm	Novembre 1993
Volturino	Volturino (FG)	Puglia	510640,40	4591745,30	713,00	49624,71	Est	261,8 mm	Giugno 2004

	MESE MENO PIOVOSO		MESE PIU' PIOVOSO		MINIMA PRECIPITAZIONE		PRECIPITAZIONE ANNUA MINIMA		PRECIPITAZIONE ANNUA MASSIMA	
	valori medi nel trentennio		valori medi nel trentennio		valori medi mensili		valori medi annui		valori medi annui	
	29,4	Luglio	105,4	Novembre	0 mm	Luglio 88/01 - Agosto 92	471 mm	1977	1115,2 mm	1996
	20	Agosto	81,8	Novembre	0 mm	Luglio 78/84/96 - Agosto 86/92/94/00/01	345,8 mm	2000	879,6 mm	2002
	18,3	Giugno	127,9	Novembre	0 mm	Maggio 97 - Giugno 78/84/90/98 - Luglio 77/78/79/80/82/84/88/93 - Agosto 87/88/89/92	417 mm	1977	1251 mm	1996
	30,6	Luglio	73,7	Novembre	0 mm	Marzo 94 - Luglio 78/80/88/00 - Agosto 88/00	405 mm	2000	882 mm	1976
	29,1	Luglio	71,9	Novembre	0 mm	Luglio 78/84/88/00 - Agosto 00	366 mm	1981	861 mm	2003
	27,8	Luglio	84,8	Novembre	0 mm	Luglio 84/88/00	449 mm	2000	1038 mm	1976
	17,1	Giugno	126,3	Novembre	0 mm	Aprile 86 - Giugno 84/85 - Luglio 77/78/79/80/84/88/90/93/97 - Agosto 87/88/92/93/00	362 mm	1989	1177 mm	1976
	25,2	Agosto	71,6	Novembre	0 mm	Giugno 91 - Luglio 77/78/84/93 - Agosto 86/92/94/00	344 mm	2000	854 mm	1976
	33,7	Luglio	120,6	Novembre	0 mm	Luglio 85/88	625 mm	2000	1285 mm	1996
	22,6	Luglio	70,0	Dicembre	0 mm	Giugno 95 - Luglio 77/78/82/88/90 - Agosto 87/93/00/01	282 mm	1989	1083 mm	1976
	38,3	Luglio	93,4	Dicembre	0 mm	Luglio 88/97 - Agosto 93/00 - Ottobre 95	496 mm	1977	1043 mm	1976
	35,1	Luglio	112,6	Dicembre	0 mm	Luglio 88/97 - Agosto 93 - Ottobre 95	522 mm	1990	1263 mm	1980
	19,3	Giugno	91,8	Novembre	0 mm	Giugno 78/82/84/90 - Luglio 77/78/88/90/96 - Agosto 88/92/93/00	389 mm	2000	1072 mm	1996
	17,4	Giugno	98,0	Novembre	0 mm	Luglio 77/78/84/88/90/96/03 - Agosto 86/87/88/92/00	412 mm	1977	952 mm	1996
	24,8	Luglio	66,8	Novembre	0 mm	Luglio 78/88/96 - Agosto 84 - Settembre 80	307 mm	1977	734 mm	2002
	20,4	Luglio	106,0	Dicembre	0 mm	Luglio 94/96 - Agosto 92/00	398,6 mm	2000	927,2 mm	1996
	37,1	Luglio	103,8	Novembre	0 mm	Luglio 97 - Agosto 93/00	474 mm	1992	1133 mm	2004
	10,8	Luglio	127,7	Novembre	0 mm	Maggio 88 - Giugno 82/85/93 - Luglio 77/78/80/84/87/88/93/03 - Agosto 87/88/89/92/93/00	245 mm	1977	1051 mm	1976
	27,1	Luglio	63,5	Novembre	0 mm	Marzo 94 - Luglio 84/88	375 mm	1977	886 mm	1976
	31,4	Luglio	115,6	Novembre	0 mm	Marzo 94 - Luglio 84/85/88	594 mm	2001	1282 mm	1976
	22,5	Luglio	78,2	Novembre	0 mm	Giugno 85 - Luglio 77/84/88 - Agosto 92	339 mm	1992	958 mm	1976
	34,1	Luglio	93,4	Novembre	0 mm	Luglio 84	485 mm	1977	1005 mm	1979
	28,8	Luglio	72,1	Dicembre	0 mm	Luglio 77/78/88/96/01 - Agosto 85	349 mm	2000	888 mm	1976
	12,4	Luglio	60,7	Novembre	0 mm	Giugno 94 - Luglio 77/78/88 - Agosto 86/87/88/93/00/01 - Settembre 94	244 mm	1989	882 mm	1976
	16,2	Luglio	65,5	Novembre	0 mm	Giugno 95 - Luglio 77/78/82/88/ - Agosto 86/87/88/89/93/00 - Ottobre 95	295,6 mm	2001	965 mm	1976
	9	Luglio	112,7	Novembre	0 mm	Giugno 82/84/85/99 - Luglio 77/78/80/88/93/95/96/97 - Agosto 86/88/89/00/01	270 mm	1989	985,8 mm	1996
	41,6	Agosto	139,7	Novembre	0 mm	Luglio 85/88	706 mm	1977	1445 mm	1976
	25,5	Luglio	76,6	Novembre	0 mm	Luglio 88	400 mm	1977	883 mm	2003
	24,5	Luglio	69,1	Novembre	0 mm	Marzo 94 - Luglio 77/78/88/97 - Agosto 86	303 mm	1977	742 mm	1976
	27,4	Luglio	75,4	Novembre	0 mm	Giugno 98 - Luglio 84/96 - Agosto 93/96	369 mm	1992	867 mm	1976
	25	Luglio	72,1	Novembre	0 mm	Marzo 94 - Luglio 84/88/93/96 - Agosto 86/92/94/00/01	327 mm	1989	829 mm	1984
	30,6	Luglio	85,0	Novembre	0 mm	Luglio 78/80/88 - Agosto 88/00	379 mm	1977	944 mm	1976
	33,2	Luglio	115,0	Dicembre	0 mm	Agosto 86/97/01	502 mm	1992	1349 mm	2002
	22,7	Luglio	70,9	Novembre	0 mm	Marzo 94 - Maggio 82 - Luglio 84/88/97 - Agosto 86/91/92/93/00/01 - Ottobre 95	341 mm	1977	825,2 mm	2002
	17,4	Giugno	129,9	Novembre	0 mm	Giugno 84 - Luglio 78/80/84/88/90/93/96 - Agosto 86/87/94/00	340 mm	1977	1255,8 mm	1996
	32,5	Luglio	86,5	Novembre	0 mm	Marzo 94 - Luglio 88	408 mm	1988	1021,2 mm	2004

APPENDICE C
Le mappe climatiche

La mappa (A) rappresenta il valore stimato, con il metodo del Kriging, della media dei valori minimi di temperatura mensili.

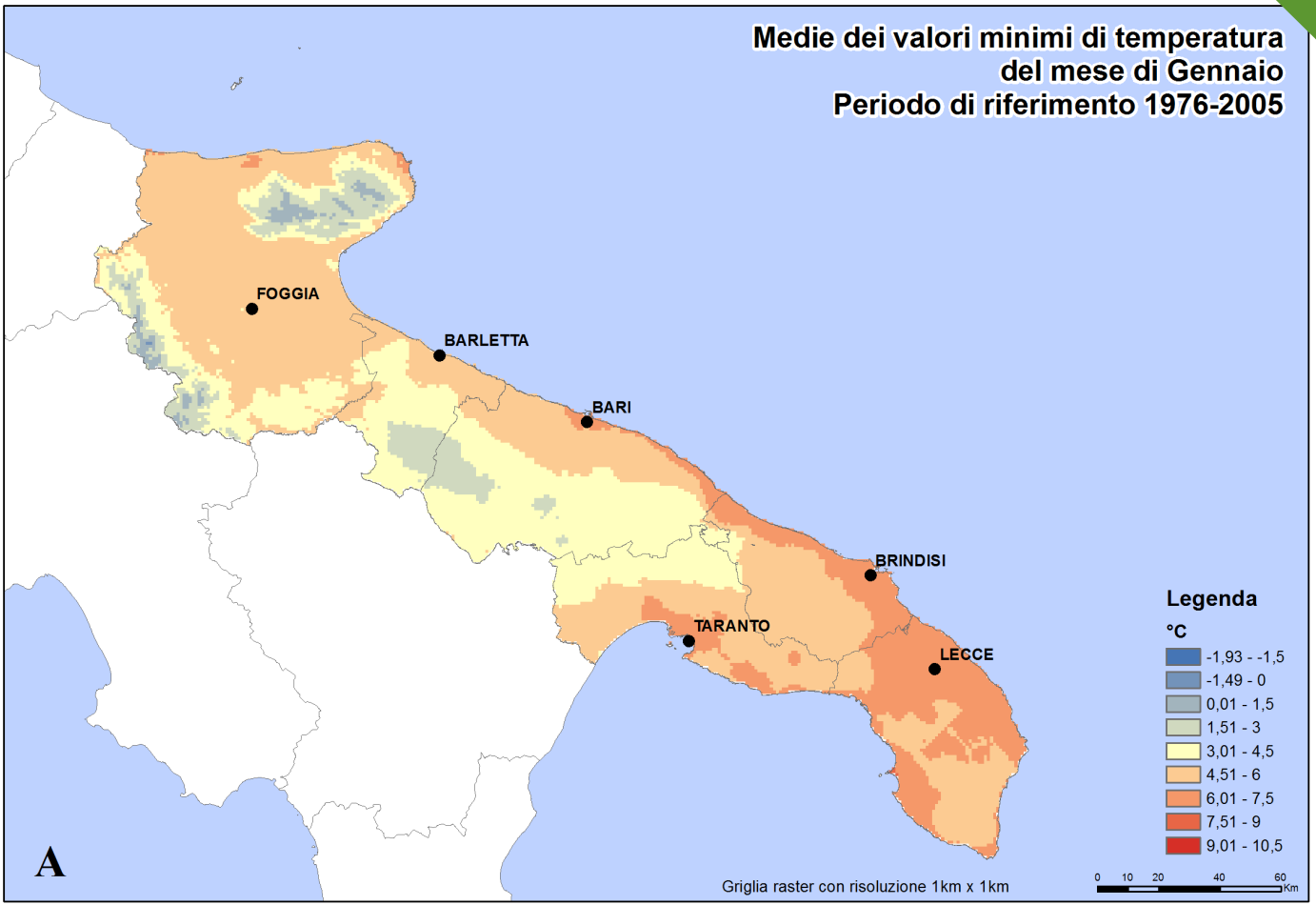
La mappa (B) rappresenta il limite superiore di variabilità della temperatura mensile, con una probabilità del 95%.

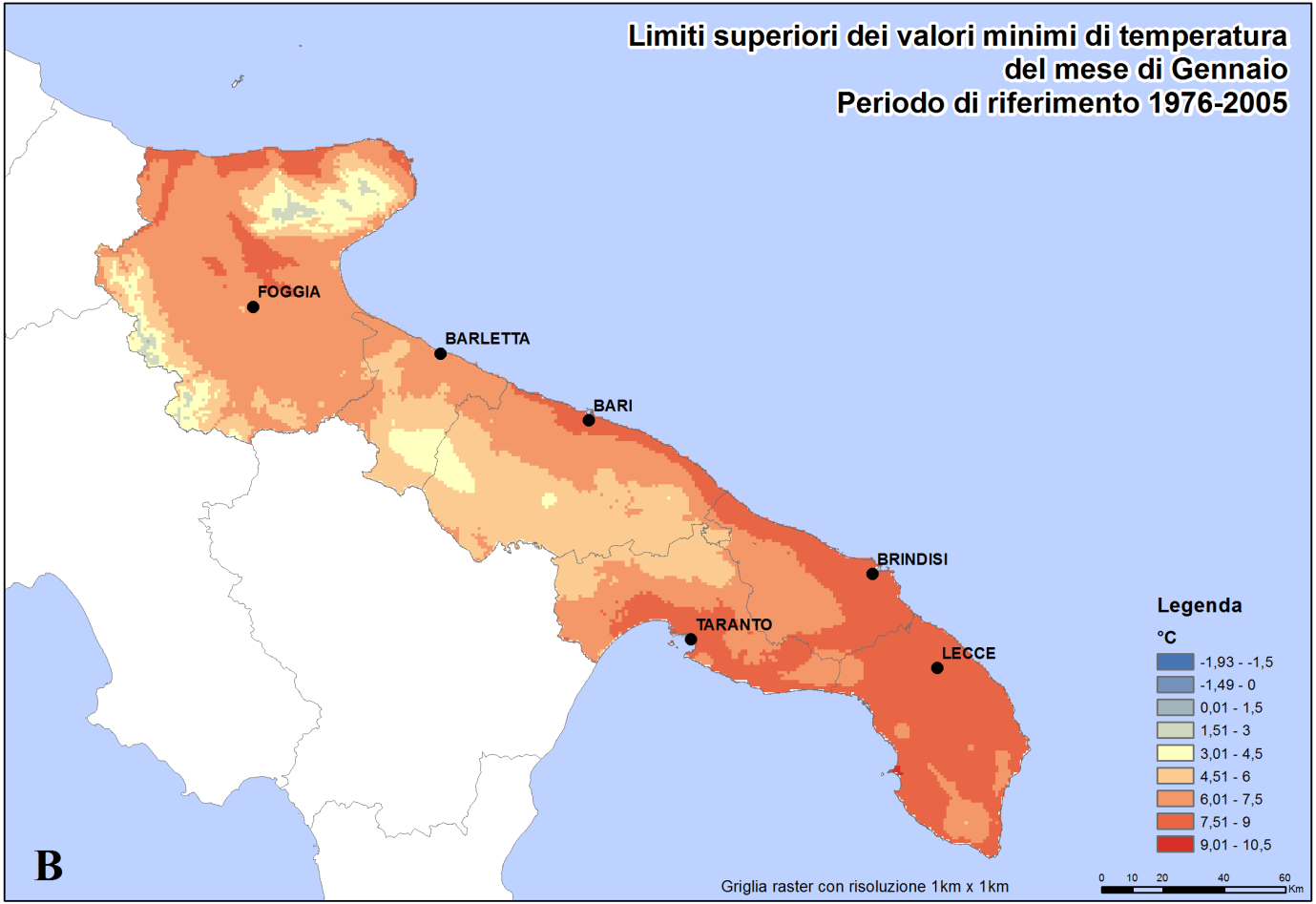
La mappa (C) rappresenta il limite inferiore di variabilità della temperatura mensile, sempre con una probabilità del 95%.

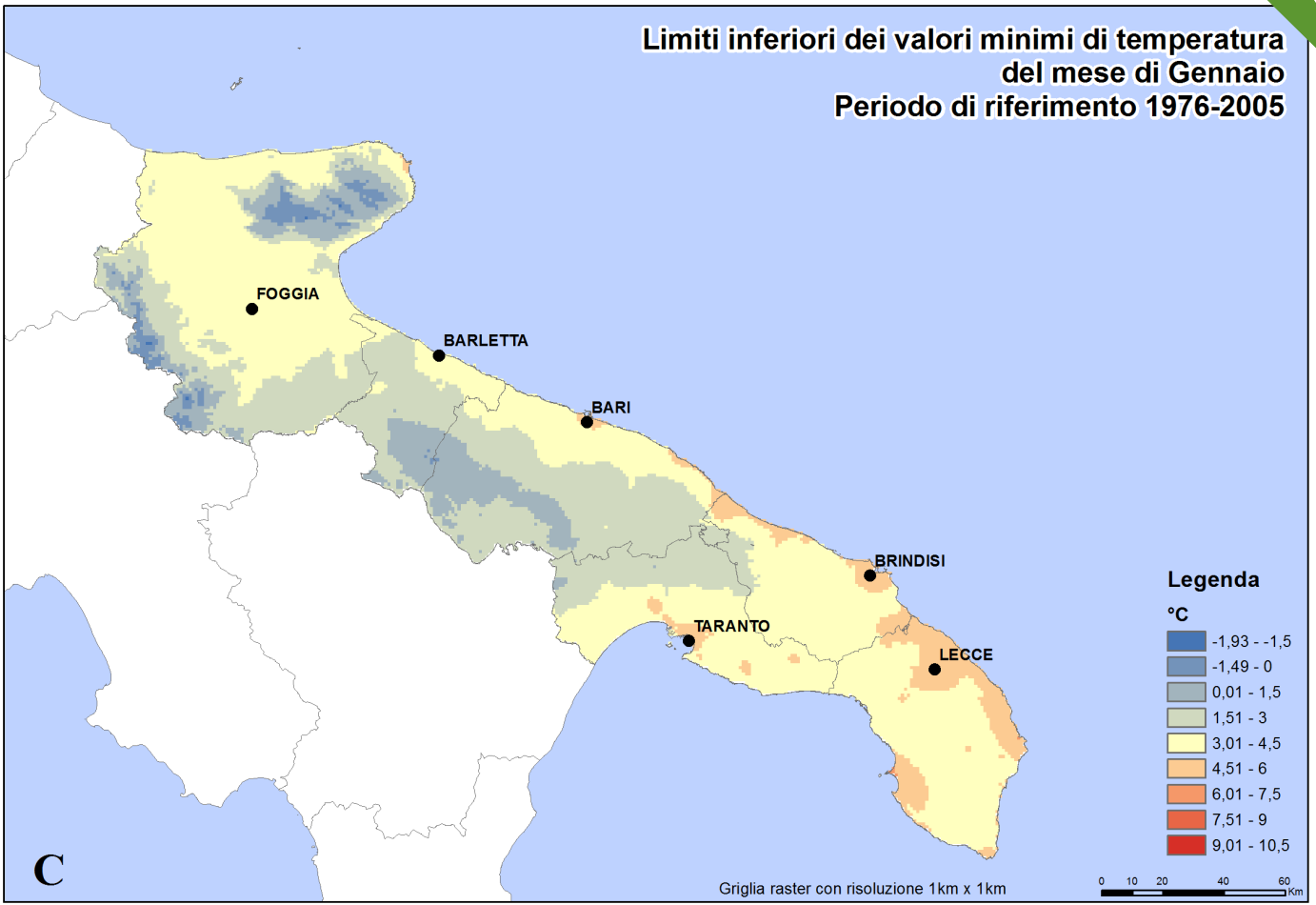
Tutte le mappe hanno una cella di 1 km per 1 km.

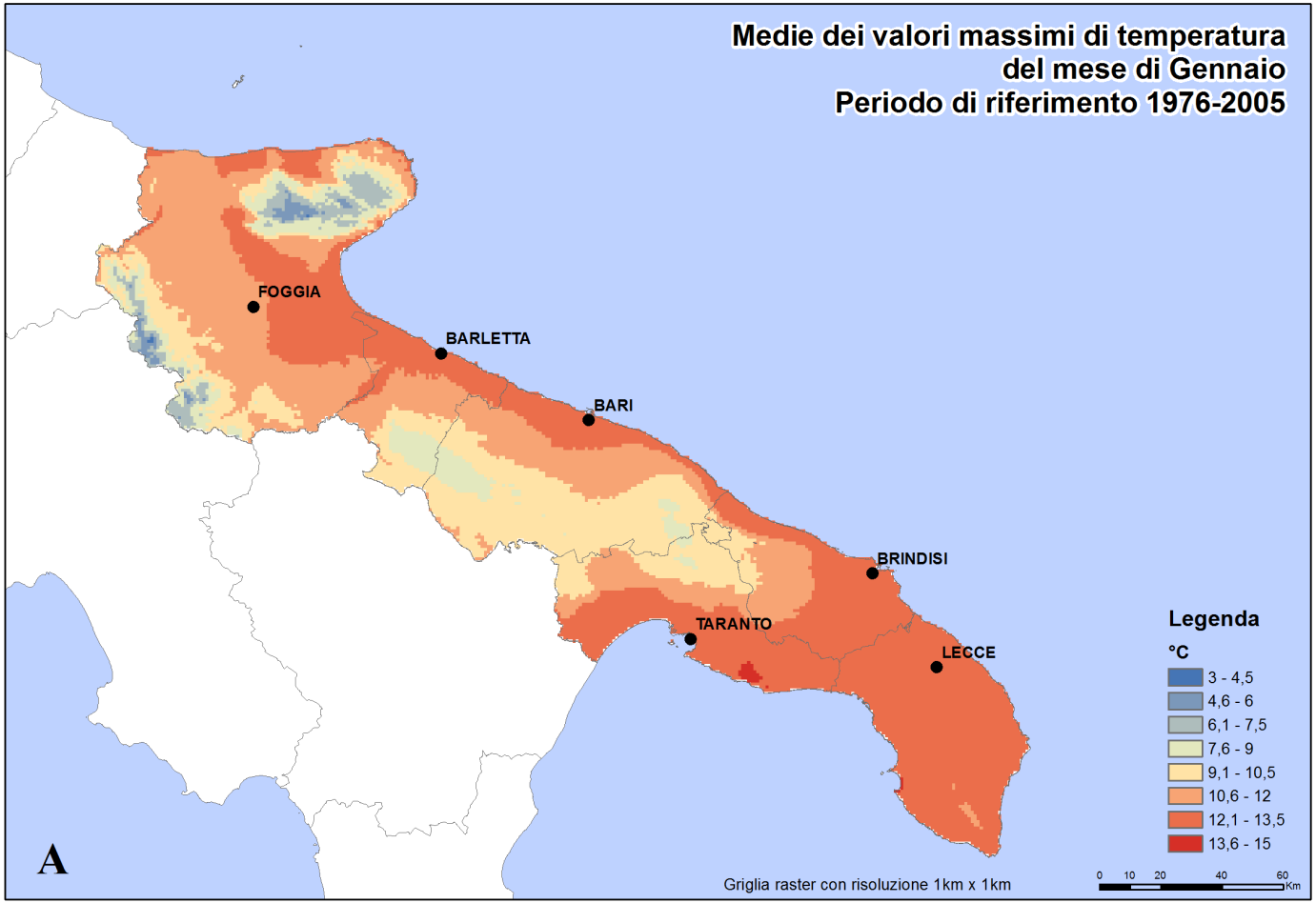
REGIONE PUGLIA
Area Politiche per la riqualificazione, la tutela e la sicurezza ambientale e per l'attuazione delle opere pubbliche
Servizio Protezione Civile - Centro Funzionale Regionale e Struttura di Monitoraggio Meteoclimatico
Area Programmazione e Finanza
Ufficio Statistico

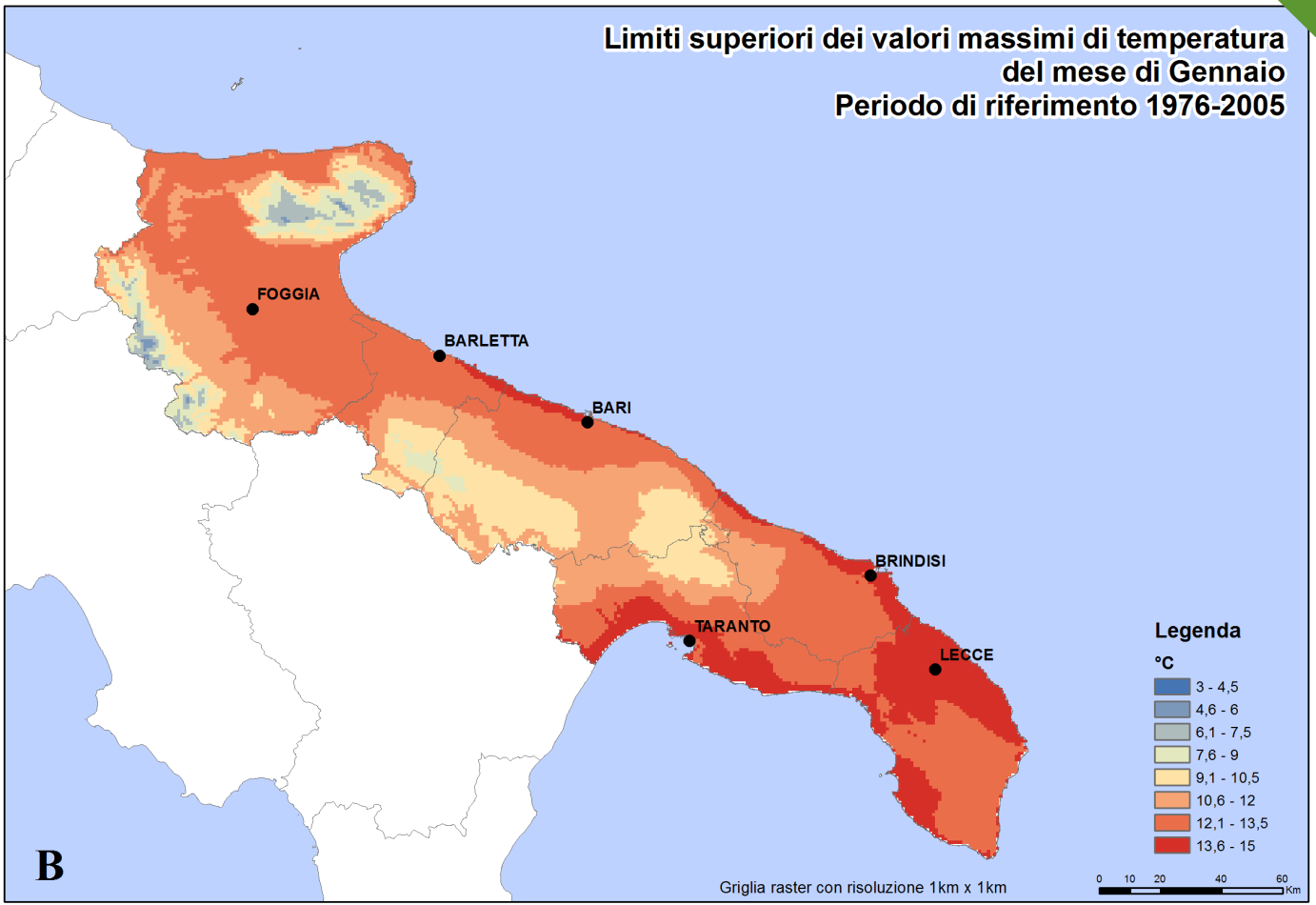
In collaborazione con IRSA - CNR

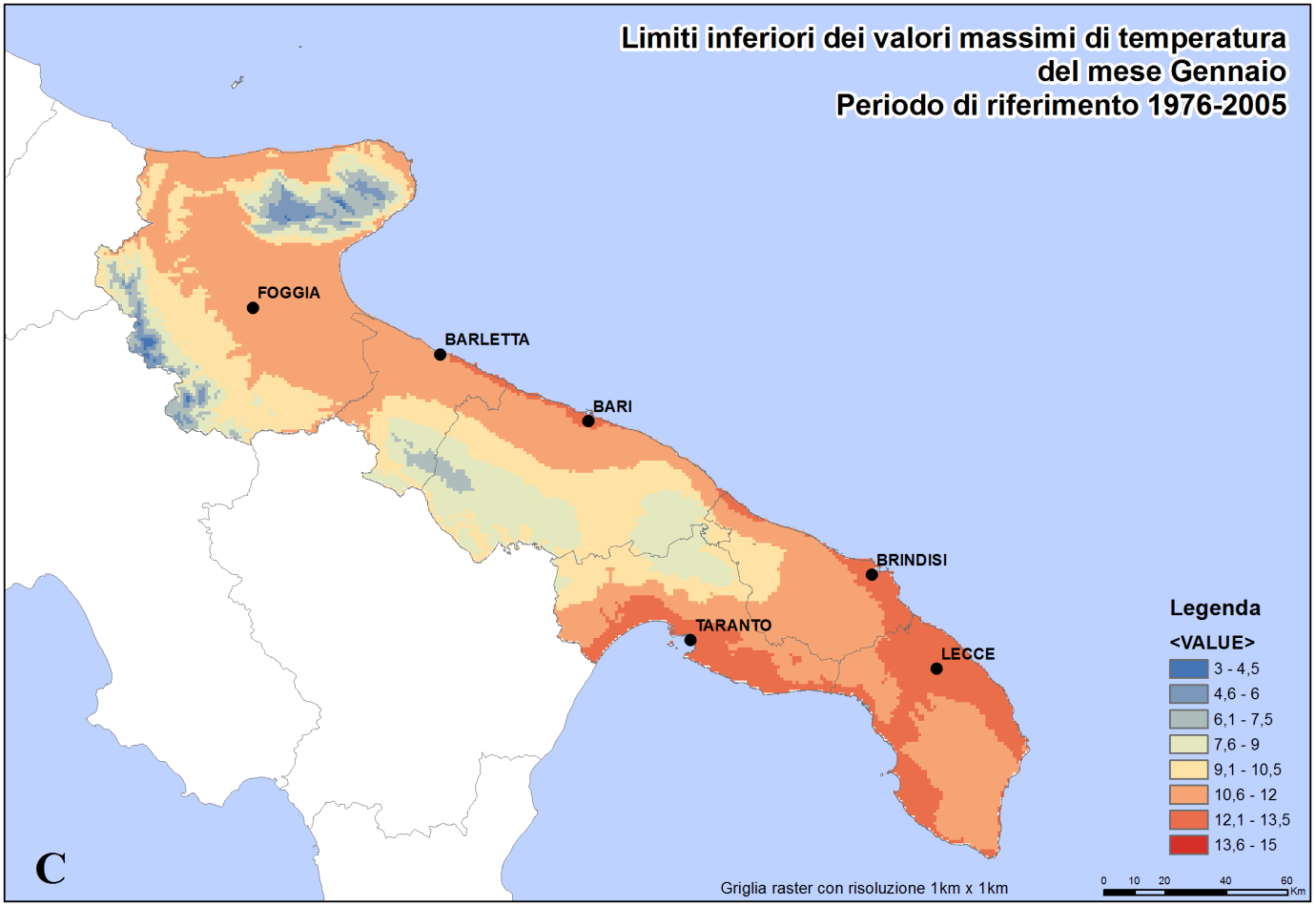

Medie dei valori minimi di temperatura
del mese di Gennaio
Periodo di riferimento 1976-2005
FOGGIA
BARLETTA
BARI
BRINDISI
TARANTO
LECCE
A
Griglia raster con risoluzione 1km x 1km
Legenda
°C
-1,93 - -1,5
-1,49 - 0
0,01 - 1,5
1,51 - 3
3,01 - 4,5
4,51 - 6
6,01 - 7,5
7,51 - 9
9,01 - 10,5
0 10 20 40 60
Km

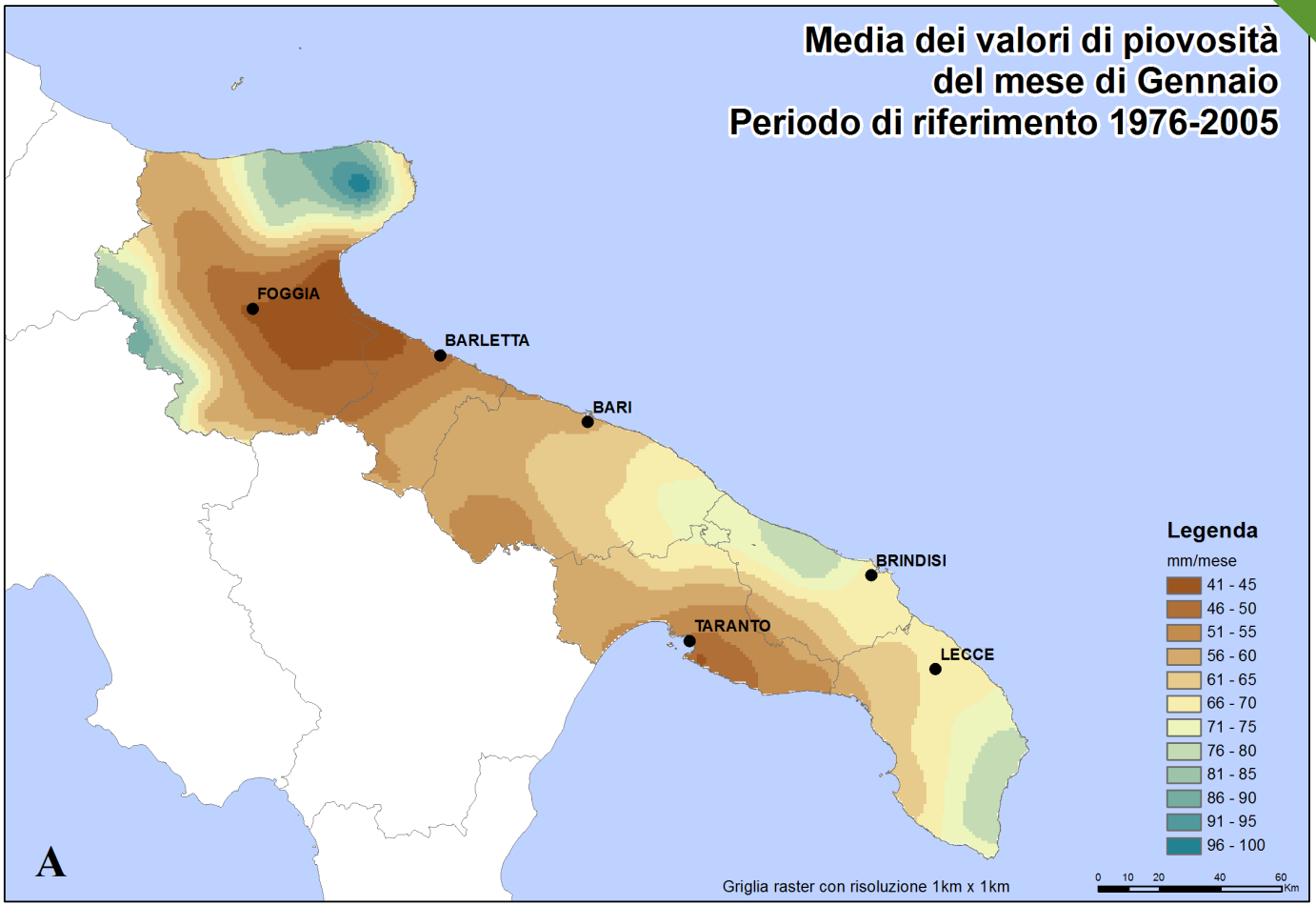

Limiti superiori dei valori minimi di temperatura
del mese di Gennaio
Periodo di riferimento 1976-2005
FOGGIA
BARLETTA
BARI
BRINDISI
TARANTO
LECCE
Legenda
°C
-1,93 - -1,5
-1,49 - 0
0,01 - 1,5
1,51 - 3
3,01 - 4,5
4,51 - 6
6,01 - 7,5
7,51 - 9
9,01 - 10,5
0 10 20 40 60
Km
B
Griglia raster con risoluzione 1km x 1km

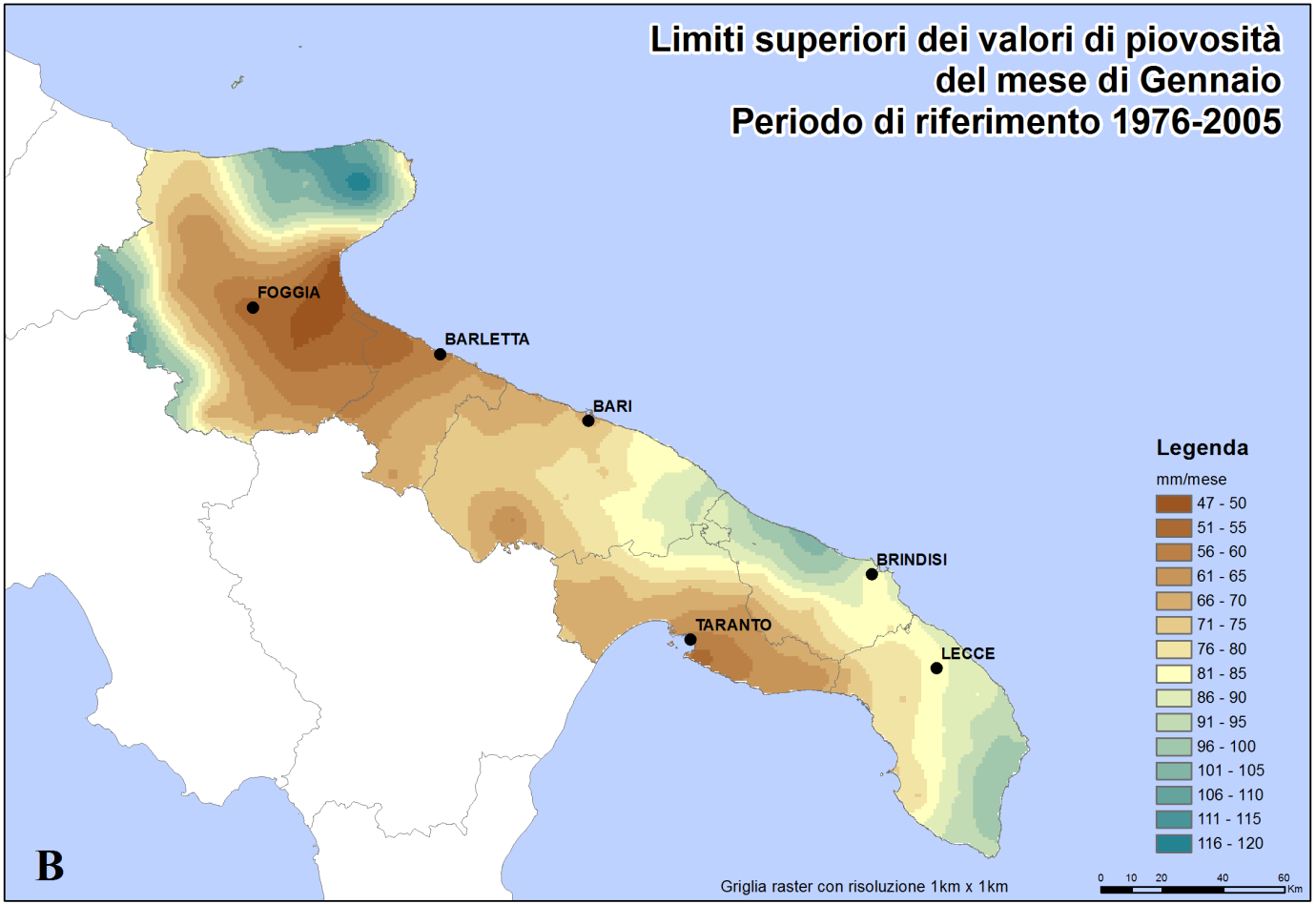

Limiti inferiori dei valori minimi di temperatura
del mese di Gennaio
Periodo di riferimento 1976-2005
FOGGIA
BARLETTA
BARI
BRINDISI
TARANTO
LECCE
Legenda
°C
-1,93 - -1,5
-1,49 - 0
0,01 - 1,5
1,51 - 3
3,01 - 4,5
4,51 - 6
6,01 - 7,5
7,51 - 9
9,01 - 10,5
C
Griglia raster con risoluzione 1km x 1km
0 10 20 40 60
Km

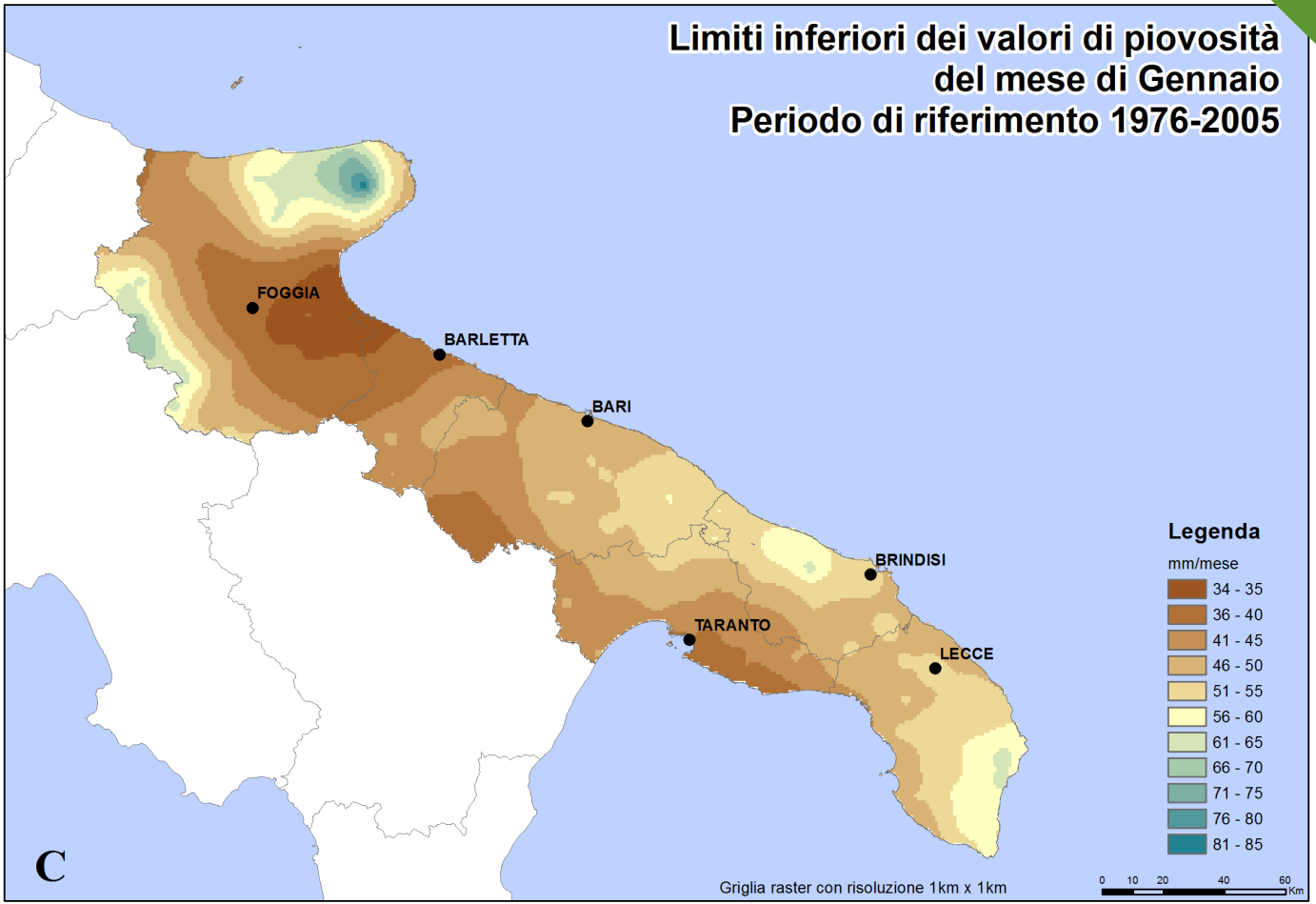

Medie dei valori massimi di temperatura
del mese di Gennaio
Periodo di riferimento 1976-2005
FOGGIA
BARLETTA
BARI
BRINDISI
TARANTO
LECCE
Legenda
°C
3 - 4,5
4,6 - 6
6,1 - 7,5
7,6 - 9
9,1 - 10,5
10,6 - 12
12,1 - 13,5
13,6 - 15
A
Griglia raster con risoluzione 1km x 1km
0 10 20 40 60
Km


Limiti superiori dei valori massimi di temperatura
del mese di Gennaio
Periodo di riferimento 1976-2005
FOGGIA
BARLETTA
BARI
BRINDISI
TARANTO
LECCE
Legenda
°C
3 - 4,5
4,6 - 6
6,1 - 7,5
7,6 - 9
9,1 - 10,5
10,6 - 12
12,1 - 13,5
13,6 - 15
B
Griglia raster con risoluzione 1km x 1km
0 10 20 40 60
Km


Limiti inferiori dei valori massimi di temperatura
del mese Gennaio
Periodo di riferimento 1976-2005
FOGGIA
BARLETTA
BARI
BRINDISI
TARANTO
LECCE
Legenda
<VALUE>
3 - 4,5
4,6 - 6
6,1 - 7,5
7,6 - 9
9,1 - 10,5
10,6 - 12
12,1 - 13,5
13,6 - 15
C
Griglia raster con risoluzione 1km x 1km
0 10 20 40 60
Km


Media dei valori di piovosità
del mese di Gennaio
Periodo di riferimento 1976-2005
FOGGIA
BARLETTA
BARI
BRINDISI
TARANTO
LECCE
Legenda
mm/mese
41 - 45
46 - 50
51 - 55
56 - 60
61 - 65
66 - 70
71 - 75
76 - 80
81 - 85
86 - 90
91 - 95
96 - 100
0 10 20 40 60
Km
A
Griglia raster con risoluzione 1km x 1km


Limiti superiori dei valori di piovosità
del mese di Gennaio
Periodo di riferimento 1976-2005
FOGGIA
BARLETTA
BARI
BRINDISI
TARANTO
LECCE
Legenda
mm/mese
47 - 50
51 - 55
56 - 60
61 - 65
66 - 70
71 - 75
76 - 80
81 - 85
86 - 90
91 - 95
96 - 100
101 - 105
106 - 110
111 - 115
116 - 120
B
Griglia raster con risoluzione 1km x 1km
0 10 20 40 60
Km


Limiti inferiori dei valori di piovosità
del mese di Gennaio
Periodo di riferimento 1976-2005
FOGGIA
BARLETTA
BARI
BRINDISI
TARANTO
LECCE
Legenda
mm/mese
34 - 35
36 - 40
41 - 45
46 - 50
51 - 55
56 - 60
61 - 65
66 - 70
71 - 75
76 - 80
81 - 85
C
Griglia raster con risoluzione 1km x 1km
0 10 20 40 60
Km

Note

Note

Note

Note

Note

Note

Ragusa Grafica Moderna - Bari

Pubblicazione a cura dell'Ufficio Statistico Regione Puglia
Area Programmazione e Finanza
Assessorato Bilancio e Programmazione

Per informazioni:
ufficio.statistico@regione.puglia.it